
DIPLOMARBEIT

**Entwicklung eines
Systems zur
softwareunterstützten
Herstellung
rotationssymmetrischer
Dichtungen im
spanabhebenden
Verfahren**

Autor:

Herr Ing. Wolfgang Ranftl

Studiengang:

Maschinenbau - Mechatronik

Seminargruppe:

KM09wMGA

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Eckhard Wißuwa

Zweitprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Jörg Matthes

Einreichung:

Mittweida, 16.07.2013

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2013

Bibliografische Beschreibung:

Ranftl, Wolfgang:

Entwicklung eines Systems zur softwareunterstützten Herstellung rotationssymmetrischer Dichtungen im spanabhebenden Verfahren – 2013 – VI, 62, XVI S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau, Diplomarbeit, 2013

Referat:

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der spanenden Formgebung von geeigneten Elastomeren zur Herstellung von rotationssymmetrischen Dichtungen für Hydraulik- und Pneumatikanwendungen. Sie umfasst sowohl die Konstruktion geeigneter Werkzeuge und Spannmittel, die Erstellung einer Software zur Berechnung der Profilgeometrie in Abhängigkeit zu Einbauraum und Anwendungsparametern, als auch die automatische Erstellung der CNC-Programme zur Verwendung an Standard CNC-Drehmaschinen.

Zweck ist es, Pneumatik- und Hydraulikdichtungen aus Polyurethan, NBR, FPM, EPDM und Silikon in einem Durchmesserbereich von 8mm Innendurchmesser bis 350 mm Außendurchmesser und einer Profilstärke von 4 bis 30mm schnell und flexibel fertigen zu können.

Der grundlegende Unterschied zu den Komplettsystemen, welche sich seit einigen Jahren am Markt befinden ist die Verwendbarkeit an bereits bestehenden Standard CNC-Maschinen. Komplettsysteme arbeiten mit speziell konstruierten Drehmaschinen, welche optimal für die Bearbeitung dieser Materialien ausgelegt sind. Der Einsatz für andere Materialien ist maschinen-, werkzeug-, und spannmittelbedingt kaum möglich. Im Gegensatz dazu ist dieses System als Erweiterung zu bereits bestehenden Standard CNC-Drehmaschinen gedacht. Damit soll für größere Instandhaltungen oder Zylinderreparaturen, welche bereits über eine CNC-Drehmaschine verfügen, die Möglichkeit geboten werden, zeitnah benötigte Dichtungen selbst zu fertigen, Stillstände und Wartezeiten zu verkürzen und Maschinen, die in Instandhaltungsabteilungen meist nur zu einem geringen Teil ausgelastet sind, effektiver zu nutzen.

Inhalt

Inhalt.....	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
0 Übersicht.....	1
0.1 <i>Danksagung.....</i>	1
0.2 <i>Motivation.....</i>	1
0.3 <i>Zielsetzung.....</i>	2
0.4 <i>Kapitelübersicht.....</i>	2
1 Einleitung.....	4
2 Grundlagen und Stand der Technik	5
2.1 <i>Komplettsysteme.....</i>	5
2.2 <i>Dichtungsprofile in der Industrie</i>	6
2.3 <i>Werkstoffe für Hydraulik- und Pneumatikdichtungen</i>	7
2.4 <i>Zerspanungswerkzeuge für Elastomere</i>	12
2.5 <i>Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe.....</i>	12
3 Tesnila Bogadi.....	13
3.1 <i>Das Unternehmen</i>	13
3.2 <i>Historie.....</i>	14
3.3 <i>Fertigungstechnologien</i>	14
3.3.1 <i>Dichtungsfertigung</i>	14
3.3.2 <i>Zylinderservice</i>	15
3.3.3 <i>Halbzeugproduktion</i>	16
3.3.4 <i>Polyurethanerzeugnisse</i>	18
4 Systemkonzept.....	19
4.1 <i>Dimensionen</i>	19
4.2 <i>Bearbeitungswerkzeuge</i>	24
4.2.1 <i>Platzverhältnisse in der Maschine</i>	28

4.3	<i>Anforderungen an die Maschine</i>	30
4.3.1	<i>Werkzeugaufnahmesysteme.....</i>	32
4.4	<i>Spannmittel.....</i>	33
4.5	<i>Berechnungssoftware</i>	39
4.5.1	<i>Profilauswahl</i>	39
4.5.2	<i>Eingabemaske und Parameter.....</i>	40
4.5.3	<i>Profilberechnung.....</i>	41
4.5.4	<i>Programmerstellung.....</i>	46
4.5.5	<i>Postprozessor</i>	54
5	Implementierung	55
5.1	<i>Aufbau auf einer bestehenden Maschine</i>	55
5.2	<i>Testlauf.....</i>	57
6	Ergebnisse und Ausblick	59
6.1	<i>Ergebnisse.....</i>	59
6.2	<i>Bewertung der Arbeit</i>	60
6.3	<i>Ausblick</i>	60
Literatur	61
Anlagen	62
Anlagen, Teil 1	A1
Anlagen, Teil 2	A3
Selbstständigkeitserklärung		

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Lineare Anordnung der Bearbeitungswerkzeuge	5
Abbildung 2-2: Dichtungsdrehmaschine der Fa. Bogadi	6
Abbildung 2-3: Dichtungen im Hydraulikzylinder.....	6
Abbildung 3-1: Produktionsgebäude der Fa. Bogadi.....	13
Abbildung 3-2: Spinner TC 400/52 der Fa. Bogadi	15
Abbildung 3-3: Zylinderhohnmaschine.....	15
Abbildung 3-4: Niederdruckgießmaschine.....	16
Abbildung 3-5: Temperofen.....	17
Abbildung 3-6: Polyurethanhalbzeug.....	17
Abbildung 3-7: NBR Halbzeug.....	18
Abbildung 3-8: Polyurethanerzeugnisse.....	18
Abbildung 4-1: Innendrehwerkzeug 8mm bis 16mm	24
Abbildung 4-2: Freigestellte VCGT16 Schneidplatte für Planeinstiche.....	25
Abbildung 4-3: Freigestellte VCGT16 Schneidplatte für O-Ringeinstiche.....	25
Abbildung 4-4: Abstechwerkzeug	26
Abbildung 4-5: 8-fach Werkzeugwender Durchmesser 300mm mit Halbzeug 265/350..	29
Abbildung 4-6: 12-fach Werkzeugwender Durchmesser 300mm mit Halbzeug 265/350	29
Abbildung 4-7: Verfährwege	31
Abbildung 4-8: DIN 69880 (VDI 3425) Werkzeugaufnahmen.....	33
Abbildung 4-9: Röhm Spannfutter KFD-HS 250	34
Abbildung 4-10: Sonderbacken mit 10° Schräge	34

Abbildung 4-11: Spannsystem 169/184.....	35
Abbildung 4-12: Spannsystem 65/80.....	35
Abbildung 4-13: Spannzange 30/40	36
Abbildung 4-14: Spannscheibe 200/350.....	37
Abbildung 4-15: Auswahl der Dichtungsgruppe.....	39
Abbildung 4-16: Auswahl des Dichtungsprofils.....	40
Abbildung 4-17: Parametereingabe.....	40
Abbildung 4-18: Eingabemaske	41
Abbildung 4-19: Anzeige der berechneten Werte	44
Abbildung 4-20: Halbzeugmaterial- und Durchmesser eingabe.....	44
Abbildung 4-21: Programm- und Werkzeuganzeige	53
Abbildung 4-22: Spinner C 400/52 Maschine der Fa. Bogadi	55
Abbildung 4-23: Spinner C 400/52 mit Werkzeugen.....	56
Abbildung 4-24: Bearbeitungssimulation einer Stangendichtung.....	57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-2: Anteile der Werkstoffe am Dichtungsvolumen.....	19
Tabelle 4-2: Halbzeugdimensionen	20
Tabelle 4-3: Dichtprofile der Kategorie Abstreifer	21
Tabelle 4-4: Dichtprofile der Kategorie Stangendichtungen	22
Tabelle 4-5: Dichtprofile der Kategorie Kolbendichtungen	23
Tabelle 4-6: Bearbeitungswerkzeuge	28
Tabelle 4-7: Spannmittel	38

,

Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
DRV	Druckverformungsrest
EPDM	Ethylenpropylendienkautschuk
FPM	Fluorkautschuk
Fa.	Firma
HFC-Flüssigkeiten	Hydraulikflüssigkeiten auf Glykol-Wasserbasis
HFD-R-Flüssigkeiten	Hydraulikflüssigkeiten auf Phosphorsäureesterbasis
HSK	Hohlschaftkegel
HSS	High Speed Steel
HM	Hartmetall
LAN	Local Area Network
MVQ	Methylvinilsilikonkautschuk
NBR	Acrylnitrilbutadienkautschuk
SS	Schnellarbeitsstahl
TPU	Thermoplastisches Polyurethan
z.B.	zum Beispiel

0 Übersicht

Im einleitenden Kapitel werden die Motivation und die Aufgabenstellung dieser Diplomarbeit besprochen. Gleichzeitig erfolgt ein kurzer Überblick zu den einzelnen Kapiteln dieser Arbeit.

Danksagung

Die vorliegende Diplomarbeit entstand im Rahmen einer freien Mitarbeitertätigkeit bei der Fa. Tesnila Bogadi in Maribor und bildet den Abschluss meines Studiums zum Diplom-Ingenieur (FH) an der Hochschule Mittweida.

Die Zeit des Studiums ist nun beendet und es ist Zeit, „Danke“ zu sagen. Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie, meiner Frau und meinen Kindern, die in den letzten vier Jahren immer an meiner Seite standen und manche Entbehrungen auf sich genommen haben, um mir die letzten Jahre der Weiterbildung zu ermöglichen. Sie haben mich besonders in schweren Stunden unterstützt, indem sie durch ihren Glauben an mich und meinen Erfolg einen großen Beitrag leisteten. Einen großen Dank auch an Herrn Marijan Bogadi, der mir immer hilfreich zur Seite stand, stets ein offenes Ohr für meine Anliegen hatte und mich bestmöglich unterstützt hat. Die Betreuung in diesen Jahren war großartig und ohne diese wäre der Erfolg in dieser Form nicht möglich gewesen. Abschließend möchte ich mich bei allen Freunden, besonders bei denen, die mich während der gesamten Studienzeit begleitet haben und mich in mannigfaltiger Art und Weise auf meinem Weg durch das Studium unterstützt haben, bedanken.

Motivation

In der heutigen Zeit kommt es durch Lagerreduzierung vermehrt zu einer Verschiebung der Lagerhaltung aus der Instandhaltung von Unternehmen hin zum Lieferanten. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, benötigte Teile möglichst zeitnah mit minimaler Lieferzeit zu fertigen. Dies hat natürlich auch vor der Dichtungsindustrie keinen Halt gemacht. Schlagworte wie „rapid processing“ und „rapid prototyping“ bestimmen auch hier den Fertigungsalltag. Darauf beruht die Motivation, hauptsächlich Instandhaltungsabteilungen größerer Industriebetriebe oder Zylinderreparaturwerkstätten die Möglichkeit zu bieten, eine bereits vorhandene CNC-Drehmaschine möglichst kostengünstig so zu erweitern, um benötigte Dichtungen selbst zu fertigen, Stillstände und Wartezeiten zu verkürzen und Maschinen, die in Instandhaltungsabteilungen meist nur zu einem geringen Teil ausgelastet sind, effektiver zu nutzen. Die Entwicklung eines solchen Systems wirft jedoch das Problem auf, dass hier mehrere unterschiedliche Bereiche der Technik ineinanderfließen. Eine Zerteilung der Aufgabe stand jedoch nicht zur Diskussion. Durch die umfassende Ausbildung in Mittweida, welche auch weit in den Bereich der Steuerungstechnik reicht und der Tatsache, dass die Software ein Hilfsmittel sein soll, das Hauptaugenmerk aber auf

der Zerspanung, den Werkzeugen und den Spannmitteln liegt, wurde die Entscheidung getroffen, mich als Maschinenbauer mit der Entwicklung eines solchen Systems zu beauftragen.

Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit befasst sich im Rahmen der Aufgabenstellung mit der Entwicklung eines geeigneten Systems zur spanabhebenden Fertigung von Hydraulik- und Pneumatikdichtungen.

Das Hauptziel ist, Pneumatik- und Hydraulikdichtungen aus Polyurethan, NBR, FPM, EPDM und Silikon in einem Durchmesserbereich von 8mm Innendurchmesser bis maximal 350mm Außendurchmesser und einer Profilstärke von 4 bis 32mm schnell und flexibel, vor allem aber unter Verwendung von bestehenden Produktionsmitteln herstellen zu können. Die Dichtungsgeometrien sollen auf den Berechnungen basieren, welche auch den firmeneigenen Bogadi Produktserien zu Grunde liegen. Als weitere Vorgabe gilt, dass an der Ausstattung der Maschinen bezüglich Spannfutter und Werkzeugaufnahmen keine Veränderungen durchgeführt werden dürfen.

Des Weiteren soll diese Technologie auch zur Produktion von Sonderdichtungen und Prototypen genutzt werden können. Der Einsatzbereich liegt hier vor allen im Sondermaschinenbau, wo aus konstruktiven Gründen keine Standardeinbauräume verwendet werden können. Hierzu ist es erforderlich, vor der Produktion in die errechneten Werte eingreifen zu können, ohne dass die Abhängigkeit der Werte zueinander verloren geht.

Die Arbeit umfasst daher sowohl die Konstruktion geeigneter Werkzeuge und Spannmittel, die Erstellung einer Software zur Berechnung der Profilgeometrie in Abhängigkeit zu Einbauraum und Anwendungsparametern sowie die automatische Erstellung der CNC-Programme zur Verwendung an Standard CNC-Drehmaschinen mit Siemens, Fanuc und Haas Steuerungen.

Kapitelübersicht

Die Diplomarbeit besteht aus sechs Kapiteln.

Nach der allgemeinen Einleitung im ersten Kapitel werden im Kapitel Zwei die Grundlagen der Zerspanung von Materialien mit einer Härte von 93 bis 97 Shore A¹ erläutert. Dieses Elementarwissen soll der gesamten Arbeit als Grundlage dienen.

Eine Vorstellung des themenstellenden Unternehmens erfolgt im dritten Kapitel. Zum besseren Aufgabenverständnis werden das Produktportfolio, sowie die verwendeten

¹ Shore-Härte, nach dem US Amerikaner Albert Shore, ist ein Werkstoffkennwert für Elastomere und Kunststoffe und ist in den Normen DIN 53505 und DIN 7868 festgelegt.

Produktionsverfahren erläutert. Zusätzlich erfolgt in diesem Kapitel eine Präzisierung der Aufgabenstellung mittels eines Pflichtenheftes.

Im Kapitel Vier wird das Systemkonzept für Spannmittel, Werkzeuge und Schneidmittel sowie für Software und Programmerstellung vorgestellt. Dazu werden auf Basis des Pflichtenheftes Werkzeuge, Spannmittel und Software designt. Zusätzlich werden die verwendeten Konstruktions- und Programmierertools kurz erläutert.

Das fünfte Kapitel dokumentiert die Umsetzung der Anforderungen. Dazu wird das System an einer bestehenden CNC-Drehmaschine der Marke Spinner installiert und die Funktion anhand je eines Dichtprofils einer Profilgruppe in verschiedenen Durchmessern getestet. Darauf aufbauend erfolgt der weitere Aufbau der Profilpalette.

Abschließend werden im Kapitel Sechs die Resultate der einzelnen Kapitel der Diplomarbeit noch einmal zusammengefasst und die Stärken und Schwächen gegenübergestellt. Zusätzlich wird ein Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen gegeben.

1 Einleitung

Entstehung des Projekts

Bereits vor einigen Jahren hat die gedrehte Dichtung den Durchbruch geschafft und hat Einzug in unsere Industrie gehalten. Immer bessere Materialien und Fertigungstechnologien lassen heute kaum noch Unterschiede zu gespritzten oder vulkanisierten Dichtungen feststellen. Einige Hersteller bieten seit mehr als zwei Jahrzehnten Komplettsysteme zur Dichtungsherstellung an. Gefertigt werden die Dichtungen vor Ort meist von Partnern, welche sich in stark industrialisierten Gebieten niedergelassen haben. In diesen Gegenden funktioniert die Versorgung der Industrie mit den benötigten Dichtungen rasch und problemlos. In Ländern wie Österreich und der Schweiz gibt es aber durchaus in ländlichen Bereichen kleine Industriebetriebe und mittelständische Gewerbebetriebe, die meist aus Überresten der einst verstaatlichten Stahl- und Schwerindustrie hervorgegangen sind und heute außerhalb der industriellen Ballungszentren liegen. Viele dieser Betriebe halten sich ein kostspieliges Lager an Ersatzdichtungen, um im Schadensfall die Stillstandszeiten so gering wie möglich zu halten. Speziell aus diesen Regionen wurde immer wieder der Wunsch nach einem kostengünstigen System an die Fa. Bogadi herangetragen, da die Anschaffungskosten eines der am Markt befindlichen Komplettsysteme in jedem Fall die Hunderttausendeurogrenze weit übersteigen würde und sich solche Systeme für Instandhaltungsbetriebe oder Zylinderreparaturwerkstätten in keinem Fall rechnen. Aus diesen Gedanken wurde die Idee geboren, CNC-Drehmaschinen, die in den meisten dieser Betriebe vorhanden sind, mit einem System zu ergänzen, dass es möglich macht, ohne in die Systematik der Maschine einzugreifen, die am häufigsten benötigten Profilgeometrien schnell und kostengünstig selbst zu fertigen.

2 Grundlagen und Stand der Technik

Komplettsysteme

In den 1980er Jahren brachte die seit 2007 zur SKF Gruppe gehörende Fa. Economos die ersten Maschinen zur Fertigung von gedrehten Dichtungen auf den Markt. „Seit der Gründung 1976 in Judenburg als Dichtungshandelshaus kamen 27 Tochterfirmen und an die 90 Standorte weltweit hinzu.“² Diese Partner- und Tochterunternehmen versorgen weltweit Industrie und Gewerbe mit gedrehten Dichtungen. Durch den großen Erfolg der Seal-JetTM Maschinen von Economos entstanden in den nächsten Jahren weitere Anbieter von solchen Komplettsystemen. Heute gibt es eine Hand voll Anbieter, welche unter den Namen Seal-Master, Seal-Maker, OZ-Seals, PU1TEC usw. ebenfalls Komplettsysteme anbieten. Da das Ergebnis immer dasselbe sein muss, unterscheiden sich die verwendeten Technologien nur wenig. Gemeinsam haben diese Systeme, dass es sich dabei eben um Komplettsysteme handelt, also um das gesamte Equipment bestehend aus Maschine, Werkzeugen, Spannmittel, Hard- und Software, welches zur Herstellung benötigt wird. Die technische Ausstattung dieser Maschinen ist speziell an diese Anforderungen angepasst. Komplettsysteme arbeiten meist mit speziell konstruierten oder adaptierten Drehmaschinen, welche optimal für die Bearbeitung der in Kapitel nachfolgend vorgestellten Materialien ausgelegt sind. So wird in vielen Fällen ein Handspannfutter verwendet. Die Werkzeuge sind oft auf einem Linearschlitten in X-Richtung angeordnet und die Positionen der Werkzeuge werden von der Software vorgegeben. Der Einsatz für andere Materialien ist maschinen-, werkzeug-, und spannmittelbedingt nicht oder nur begrenzt möglich.



Abbildung 2-1: Lineare Anordnung der Bearbeitungswerkzeuge

² Burtscher, Iris: Judenburger Economos hält dicht. In: Bericht der Wirtschaftskammer Steiermark. – Graz: 2007, Ausgabe Nr. 21, S34

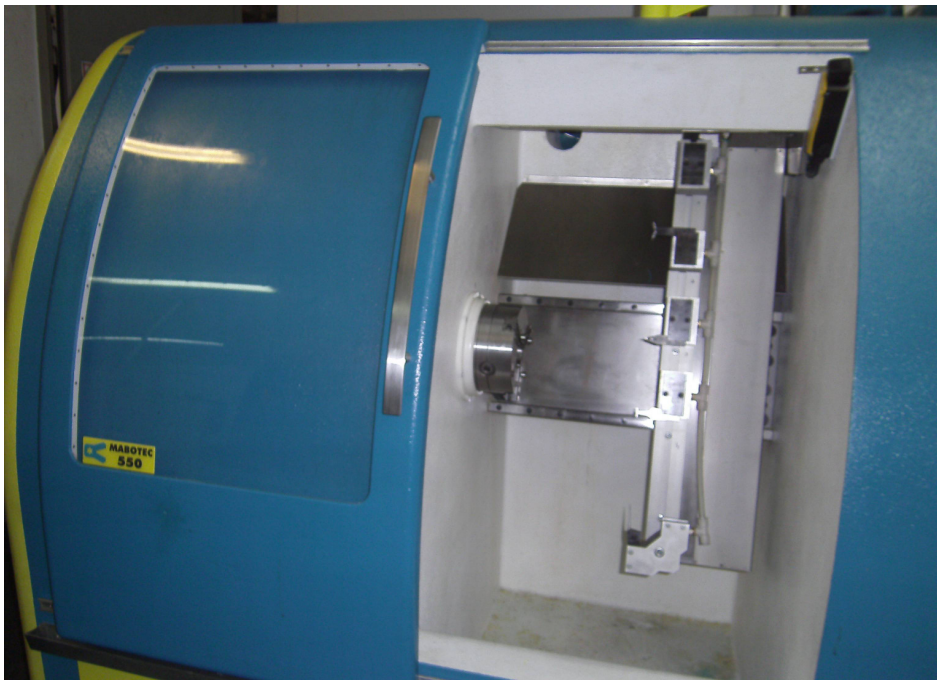


Abbildung 2-2: Dichtungsdrehmaschine der Fa. Bogadi

Dichtungsprofile in der Industrie

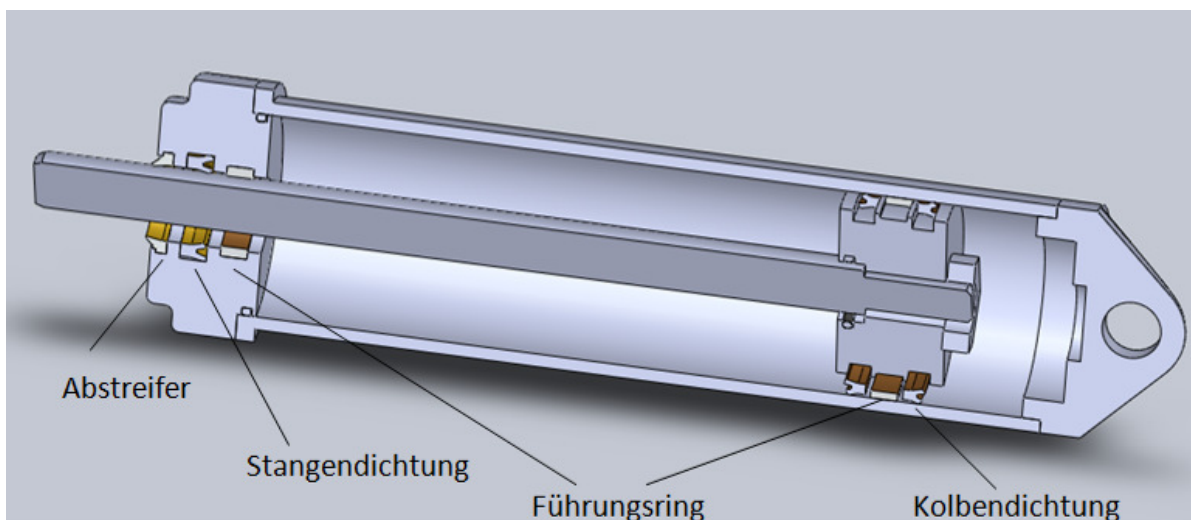


Abbildung 2-3: Dichtungen im Hydraulikzylinder

Abstreifer: Unabhängig von den verschiedenen zum Einsatz kommenden Bauformen, welche vom Anwendungsfall und vor allem auch vom zur Verfügung stehenden Platz abhängig sind, erfüllen Abstreifer den Zweck, Schmutz, Feuchtigkeit und andere Fremdkörper von der Kolbenstange abzustreifen, bevor diese in das System zurückfährt. Das verhindert die Verschmutzung des hydraulischen Mediums und die Beschädigung von Führungen, Dichtungen und allen andere Komponenten wie Pumpen und Ventilen im Hydrauliksystem.

Stangendichtungen: Sie dichten gegen die Kolbenstange und verhindern das Austreten des hydraulischen Mediums. Spezielle Stangendichtungen können mit einer Abstreiflippe an der Rückseite ausgeführt sein und so die Funktion des Abstreifers mit übernehmen.

Führungsringe: Diese bestimmen die Lage der Kolbenstange und des Kolbens im System. Sie nehmen die Querkräfte auf und verhindern dadurch einen Kontakt von Metall auf Metall.

Kolbendichtungen: Bei Kolbendichtungen unterscheidet man zwischen einfach- und doppelt- wirkenden Dichtelementen. Bei einfachen Druckbelastungen werden am häufigsten die altbewehrten „Lippenringe“, wie sie in Abbildung 2-3 dargestellt sind, eingesetzt.³ *„Die Kolbendichtung ist für die mechanische Funktion des Systems verantwortlich. Die Dichtheit jeder Hub- oder Zugbewegung wird durch den Einsatz von Kolbendichtungen in Zylindern möglich. Egal ob einfach- oder doppelwirkend, die Kolbendichtung ist das Arbeitstier unter den Dichtungen.“*⁴

Werkstoffe für Hydraulik- und Pneumatikdichtungen

In der Fachliteratur herrscht Uneinigkeit darüber, ob Polyurethane oder Gummiwerkstoffe den größeren Teil der Dichtungswerkstoffe für Pneumatik und Hydraulik ausmachen, unbestritten ist jedoch, dass diese beiden Gruppen gemeinsam den Dichtungsmarkt beherrschen.

Gummiwerkstoffe:

„Gummi unterscheidet sich von anderen Werkstoffen durch seine Elastizität. Er lässt sich mit wenig Kraft verformen und nimmt nach der Entlastung wieder seine Ausgangsposition ein. Aus diesem Grund bezeichnet man alle gummimineralischen Werkstoffe als Elastomere.“

„In den Gummifabriken werden aus Kautschuken die verschiedenartigsten Elastomere hergestellt. Zu diesem Zweck wird Kautschuk plastiziert und mit Zusatzstoffen gemischt.“ *„Je nach Art und Menge des Kautschuks und der Beimengungen lassen sich die physikalischen, thermischen und chemischen Eigenschaften des Werkstoffes weitgehend variieren, sodass man in der Lage ist, die Mischungszusammensetzung dem Verwendungszweck anzupassen.“*⁵

Aus diesen Möglichkeiten haben sich folgende Gummiwerkstoffe entwickelt, die häufig in der Dichtungstechnik Anwendung finden.

³ Bauer Gerhard DI. Ölhydraulik: Grundlagen Bauelemente Anwendungen. 9. Auflage. Wiesbaden: Vieweg und Teubner GmbH, 2009, S110 ff

⁴ Plastoseal Produktions GmbH, <office@plastoseal.com>: industrial plastics and sealing parts. URL: <<http://www.plastoseal.com/cms/de/produktuebersicht/kolbendichtung>>, 18.5.2013

⁵ Nagdi Khairi Dr. In Krumeich Peter DI: Polymere Dichtungswerkstoffe. 1. Auflage. München: Resch Verlag KG, 1988, S1

NBR :

Härte: Etwa 40 Shore A bis Hartgummi.

Elastizität: Etwa 10 bis 50 %. Sie nimmt mit zunehmendem ACN-Gehalt des verwendeten Nitrilkautschuks ab, lässt sich aber durch Zusatz von Elastikatoren ganz erheblich verbessern.

Reißfestigkeit: Etwa 7 bis 25 N/mm² und höher.

Reißdehnung: Etwa 100 bis 700% und höher.

Compression Set ⁶: Etwa 15 bis 60% nach 70 h bei 100°C.

Hitzebeständigkeit: Bis etwa 100°C, kurzzeitig bis 120°C. Oberhalb dieser Temperaturgrenze wird die Alterung beschleunigt, wodurch die Vulkanisate hart und brüchig werden. Bildung neuer Vernetzungsbrücken, wodurch der Alterungsprozess beschleunigt wird.

Kältebeständigkeit: Zwischen etwa -10 und -50°C.

Chemische Beständigkeit: Beständig gegen

- Kohlenwasserstoffe, wie z.B. Propan, Butan, Benzin
- Mineralöle und -fette, Dieselkraftstoff
- Schwerentflammbare Druckflüssigkeiten der Gruppe HFC
- Pflanzliche Öle und tierische Öle und Fette
- Wasser
- Viele verdünnte Säuren und Basen ⁷

⁶ Compression Set, (deutsch – Druckverformungsrest (DRV)): Nach DIN 53 517 bzw. DIN ISO 815 wird der Druckverformungsrest bei konstanter Verformung gemessen. Dieser stellt den Verformungsanteil des Testmaterials dar. Der Druckverformungsrest ist ein wichtiger Faktor, der vor Einsatz eines Materials für einen bestimmten Einsatzzweck beachtet werden muss. Besonders für den Einsatz von Dichtungen und Unterlegplatten aus Elastomeren ist die bleibende Verformung, der Druckverformungsrest eine wichtige Kenngröße. Prüfverfahren: Zur Bestimmung dieser Größe wird ein zylindrischer Prüfkörper um z.B. 25% zusammengedrückt und bei bestimmter Temperatur eine gewisse Zeit so gelagert. Die Temperatur und das Medium (meist Luft, aber auch Öle und andere Gebrauchsflüssigkeiten) für den Druckverformungstest hängt von dem zu testenden Material, seinem geplanten Einsatzzweck und dem Versuchsaufbau ab (z. B. 24 h bei 70°C). 30 Minuten nach der Entlastung wird bei Raumtemperatur wieder die Höhe gemessen und daraus die bleibende Verformung ermittelt.

Ein DVR von 0% bedeutet, dass der Körper seine ursprüngliche Dicke wieder voll erreicht hat (in der Realität unmöglich), ein DVR von 100% sagt, dass der Körper während des Versuchs völlig verformt wurde und keine Rückstellung zeigt. Die Berechnung erfolgt nach folgender Formel: $DVR (\%) = (L_0 - L_2) / (L_0 - L_1) \times 100\%$

- DVR = Druckverformungsrest in %
- L0 = Höhe des Probekörpers vor der Prüfung
- L1 = Höhe des Probekörpers während der Prüfung (Distanzstück)
- L2 = Höhe des Probekörpers nach der Prüfung

EPDM:

Härte: Etwa 25 bis 95 Shore A.

Elastizität: Etwa 14 bis 60%.

Reißfestigkeit: Etwa 7 bis 20 N/mm².

Reißdehnung: Etwa 150 bis 600%.

Compression Set: Liegt im Allgemeinen über 60% nach 70h bei 150°C.

Hitzebeständigkeit: Etwa 130 bis 150°C, richtig aufgebaute Peroxidvulkanisate aus EPDM halten Heißwasser und Heißdampf bis 200°C ohne nennenswerte Beeinträchtigung stand.

Kältebeständigkeit: Bis etwa -50°C.

Chemische Beständigkeit: Beständig gegen:

- Heißwasser und Heißdampf bis etwa 130°C, Sondertypen bis 200°C
- Bremsflüssigkeiten auf Glykolbasis
- Hydraulikflüssigkeiten auf Glykol-Wasserbasis (HFC-Flüssigkeiten)
- Siliconöle und Fette
- Alkohole und Ester
- Viele organische und anorganische Säuren⁸

MVQ:

Härte: Etwa 25 bis 95 Shore A.

Elastizität: Etwa 14 bis 60%.

Reißfestigkeit: Etwa 7 bis 20 N/mm².

Reißdehnung: Etwa 150 bis 600%.

Compression Set: Liegt im Allgemeinen über 60% nach 70h bei 150°C.

⁷ Nagdi Khairi Dr.: Gummiwerkstoffe. 2. Auflage. Ratingen: Dr- Gupta Verlag, 2002, S201

⁸ Nagdi Khairi Dr.: Gummiwerkstoffe. 2. Auflage. Ratingen: Dr- Gupta Verlag, 2002, S197

Hitzebeständigkeit: Etwa 130 bis 150°C, richtig aufgebaute Peroxidvulkanisate aus EPDM halten Heißwasser und Heißdampf bis 200°C ohne nennenswerte Beeinträchtigung stand.

Kältebeständigkeit: Bis etwa -50°C.

Chemische Beständigkeit: Beständig gegen:

- Heißwasser und Heißdampf bis etwa 130°C, Sondertypen bis 200°C
- Bremsflüssigkeiten auf Glykolbasis
- Hydraulikflüssigkeiten auf Glykol-Wasserbasis (HFC-Flüssigkeiten)
- Siliconöle und Fette
- Alkohole und Ester
- Viele organische und anorganische Säuren ⁹

FPM:

Härte: Etwa 60 bis 95 Shore A.

Reißfestigkeit: Etwa 13 bis 20 N/mm².

Reißdehnung: Etwa 50 bis 350%.

Hitzebeständigkeit: Bis 200°C.

Kältebeständigkeit: Bis etwa 0°C.

Chemische Beständigkeit: Beständig gegen:

- Aromatische Kohlenwasserstoffe
- Chlorierte Kohlenwasserstoffe
- Hydraulikflüssigkeiten auf Gly
- Ether
- Die meisten organischen Kältemittel ¹⁰

⁹ Nagdi Khairi Dr.: Gummiwerkstoffe. 2. Auflage. Ratingen: Dr- Gupta Verlag, 2002, S197

¹⁰ Nagdi Khairi Dr.: Gummiwerkstoffe. 2. Auflage. Ratingen: Dr- Gupta Verlag, 2002, S229

Polyurethane:

Wie bereits angeführt, sind die zweite große Gruppe der Dichtungswerkstoffe die Polyurethane. Hier finden besonders weichelastische, thermoplastische Polyurethane Anwendung.

„Es gibt wesentliche Unterschiede im physikalischen Werkstoffverhalten zwischen Elastomeren und linearen thermoplastischen Polyurethan. Während die Grenze der Temperaturbeständigkeit von thermoplastischem Polyurethan im Allgemeinen niedriger liegt als zum Beispiel für gebräuchliche NBR,- EPDM,- und FPM Werkstoffe, liegen die eindeutigen Vorteile bei Reißfestigkeit, Weiterreißwiderstand, Extrusions- und Abriebwiderstand.“¹¹

TPU:

Härte: Etwa 68 bis 99 Shore A.

Elastizität: Etwa 35 bis 50%.

Reißfestigkeit: Etwa 60 bis 150 N/mm².

Reißdehnung: Etwa 250 bis 600%.

Compression Set: Liegt im Allgemeinen über 6% nach 70h bei 150°C.

Hitzebeständigkeit: Etwa 70 bis 120°C.

Kältebeständigkeit: Bis etwa -30°C.

Chemische Beständigkeit: Beständig gegen:

- Mineralische Hydrauliköle und Fette
- Alkohol
- Äther
- Schwefelkohlenstoff
- Benzin¹²

¹¹ Kmitta Siegfried Dr. in Krumeich Peter DI: Polymere Dichtungswerkstoffe. 1. Auflage. München: Resch Verlag KG, 1988, S97

¹² Kmitta Siegfried Dr. in Krumeich Peter DI: Polymere Dichtungswerkstoffe. 1. Auflage. München: Resch Verlag KG, 1988, S105/S108/S110

Zerspanungswerkzeuge für Elastomere

Wegen der außerordentlichen Zähigkeit und Weiterreißfestigkeit von Polyurethan ist die mechanische Bearbeitung nicht unproblematisch. Im Einzelfall ist dies jedoch sehr stark von der Härte des zu bearbeitenden Materials abhängig. Bei allen zur Zerspanung von Polyurethan eingesetzten Werkzeugen ist daher darauf zu achten, dass sich nur arbeits-scharfe Schneiden im Einsatz befinden. Während der Bearbeitung von Polyurethan muss eine hohe Wärmeentwicklung vermieden werden. Daher sollte stets eine Kühlung mit Pressluft bzw. Emulsionen erfolgen. Nachfolgend einige Richtwerte für die spanende Bearbeitung von TPU:

Freiwinkel:	6-15°
Spanwinkel:	bis 25°
Einstellwinkel:	45–60°
Werkzeuge:	HSS, SS, HM ¹³

Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe

Die zum Drehen eingesetzten Werkzeuge sollten schlankere Schneiden haben als jene für Metalle, um die Schnittkräfte und die Schnittwärme zu verringern.

Schnittgeschwindigkeit:	100 – 200m/min
Vorschub:	0,1 – 0,4mm/U
Spantiefe	bis 15mm
Spitzenradius	0,5 - 0,8mm

Ergebnisse von Schneidversuchen:

Bei betriebsinternen Versuchen der Fa. Tesnila Bogadi wurden über viele Jahre Wendeschneidplatten verschiedener Hersteller getestet. Derzeit kommen neben den nach eigenen Vorgaben gefertigten Sonderwerkzeugen ausschließlich polierte Wendeschneidplatten des koreanischen Herstellers Korloy zum Einsatz.

Versuche haben gezeigt, dass die Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe mit den angegebenen Werten für alle im Projekt verwendeten Materialien unverändert bleiben können.

¹³ BASF Polyurethane GmbH, <elastomere@basf.com>: PU Solutions. URL: <[http:// www.pu.basf.de](http://www.pu.basf.de)>, 12.6.2013

3 Tesnila Bogadi

Das Unternehmen



Abbildung 3-1: Produktionsgebäude der Fa. Bogadi

Adresse: Tesnila Bogadi D.O.O
 Karantanska ulica 21
 SI-2000 Maribor

Telefon: +386 2 4260450

E-Mail: bogadi@siol.net

Homepage: http://www.bogadi.si

Historie

Das Unternehmen Tesnila Bogadi hat vor 15 Jahren seine Tätigkeit aufgenommen.

- | | |
|-------------|---|
| 1998 | Gründung des Unternehmens als Einzelfirma durch Herrn Marijan Bogadi. Herstellung von gedrehten Dichtungen für die Zylinderreparatur mit einer gebrauchten Seal-Jet TM Maschine und einem Mitarbeiter auf einer Produktionsfläche von 18m ² . |
| 2001 | Übersiedlung in das neue Büro und Produktionsgebäude mit einer Produktionsfläche von 700m ² . |
| 2003 - 2008 | In diesen Jahren folgte der kontinuierliche Ausbau des Unternehmens. Neue Fertigungstechnologien wurden integriert, neue Geschäftsbereiche erschlossen und der Mitarbeiterstand auf rund 40 ausgebaut. Die Produktionsfläche wurde durch Zubauten auf 2000m ² erweitert. |
| 2009 | Durch die Wirtschaftskrise, welche auch Tesnila Bogadi im vollen Ausmaß getroffen hat, musste die Mitarbeiterzahl drastisch reduziert werden. |
| Heute | 2012 erzielte das Unternehmen mit 21 Mitarbeitern einen Jahresumsatz von 1,52 Millionen Euro und konnte ein EBIT ¹⁴ von rund 145.000 Euro erwirtschaften. |

Fertigungstechnologien

Die Fertigung der Tesnila Bogadi gliedert sich heute in vier Teilbereiche.

3.1.1 Dichtungsfertigung

Für die Dichtungsfertigung stehen heute zwei Seal-JetTM Maschinen, eine Emco Maschine und eine im Eigenbau entstandene Drehmaschine zur Verfügung. Auf diesen Maschinen können Dichtungen im Bereich von 6mm bis 840mm durch spanabhebende Bearbeitung hergestellt werden. In weiterer Folge soll die im Zuge dieser Diplomarbeit umgerüstete Spinner Maschine in die Fertigung integriert werden.

¹⁴ EBIT (Earnings before interest and taxes, übersetzt „Gewinn vor Zinsen und Steuern“), ist eine betriebswirtschaftliche Kennzahl und beschreibt den Gewinn eines Unternehmens in einem bestimmten Zeitraum. Er gehört zu den Kennzahlen aus der Ergebnisrechnung nach IFRS. IFRS (International Financial Reporting Standards) sind internationale Rechnungslegungsvorschriften für Unternehmen.



Abbildung 3-2: Spinner C 400/52 der Fa. Bogadi

3.1.2 Zylinderservice

Zur Instandsetzung von Kundenzylindern steht unter anderem das Kernstück dieses Bereichs, eine Hohnmaschine für Zylinderrohre mit einem Durchmesser von bis zu 860mm und einer Maximallänge von 6m zur Verfügung. Weiters eine Drehbank mit einem Umlaufdurchmesser von mehr als einem Meter sowie alle notwendigen Vorrichtungen und Aggregate zur Druck- und Dichtheitsprüfung.



Abbildung 3-3: Zylinderhohnmaschine

3.1.3 Halbzeugproduktion

Bereits kurz nach der Übersiedlung in das neue Betriebsgebäude begann die Fa. Bogadi mit der Produktion von Halbzeugen. Anfangs ausschließlich um den Eigenbedarf zu decken.

TPU Produktion

Dazu wurde eine Niederdruckgießmaschine ¹⁵ für TPU mit einem Gießvolumen von zwei Litern pro Minute und damit mehr als 1000kg pro Tag und ein Temperofen mit gleichem Durchsatz angeschafft. Da der Eigenbedarf von Halbzeugen und Formteilen bei maximal 150 bis 200kg pro Tag lag, begann das Unternehmen bald mit dem Verkauf von Halbzeugen.



Abbildung 3-4: Niederdruckgießmaschine

¹⁵ Niederdruckgießmaschinen werden auch vorteilhaft in der Formteilherstellung bei hohen Viskositäten der Reaktanten eingesetzt. Schussgewichte im Gramm-Maßstab zählen zum Stand der Technik.



Abbildung 3-5: Temperofen



Abbildung 3-6: Polyurethanhalfzeug



Gummiproduktion

Gummihalbzeuge wurden in den ersten Jahren konventionell in Formwerkzeugen und Heizpressen hergestellt. Um der Nachfrage an diesen Werkstoffen nachkommen zu können, wurde in einen Autoklaven investiert, indem in einem Ofenzyklus Halbzeuge mit einer Gesamtmasse von bis zu 120kg vulkanisiert werden können. Die Prozesszeit liegt dabei bei rund 350 Minuten.



Abbildung 3-7: NBR Halbzeug



Um die Halbzeuge durch Drehen weiter verarbeiten zu können, bedarf es einer gewissen Stabilität. Aus diesem Grund werden die Rohlinge mit einer steifen Gießharzhülle ummantelt. Diese wird bei der Bearbeitung nur im Bereich der zu fertigenden Dichtung abgedreht und das restliche Halbzeug behält auch bei hohen Drehzahlen die Form.

3.1.4 Polyurethanerzeugnisse

Um die Kapazität der Gießmaschine besser zu nutzen, werden alle Arten von Formteilen aus Polyurethan gefertigt.

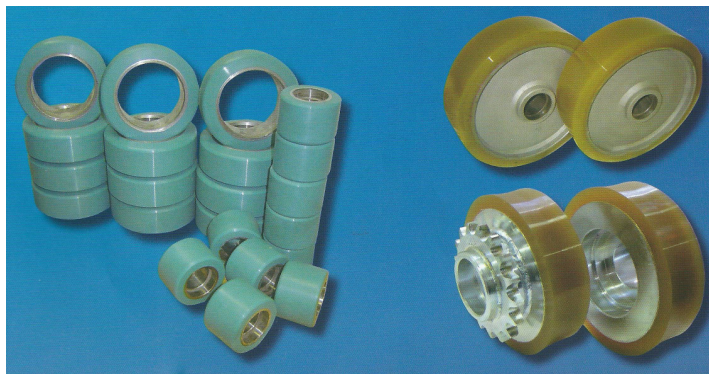


Abbildung 3-8: Polyurethanerzeugnisse

4 Systemkonzept

4.1 Dimensionen

Durch eine Analyse der im Jahr 2012 von der Firma Bogadi verkauften Dichtungen wurde festgestellt, dass 72% der Außendurchmesser in einem Bereich zwischen 30 und 200mm liegen. Weitere 16% fallen auf die Durchmesser zwischen 200 und 350mm und unter 30mm. Lediglich 12% sind Dichtungen mit einem Außendurchmesser größer als 350mm. Wiederum 93% dieser Dichtungen haben einen Nennquerschnitt von maximal 30mm und eine Maximallänge von 35mm. Weiters hat sich gezeigt, dass sich die verwendeten Werkstoffe, welche im Kapitel 2.3 näher erläutert wurden, nach Tabelle 4-1 aufteilen. Die angegebenen Prozentzahlen wurden aus Gründen der Überschaubarkeit jeweils auf ganze Prozent gerundet. Die Auswertung wurde durch einen Verkaufssachbearbeiter durchgeführt und mir zur Verfügung gestellt.

Werkstoff	Prozentualer Anteil
Polyurethane (PU)	41
Acrylnitril-Butadien-Kautschuk (NBR)	32
Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM)	8
Fluor-Kautschuk (FPM)	5
Andere	14

Tabelle 4-1: Anteile der Werkstoffe am Dichtungsvolumen 2012

In dieser Auswertung fanden nur Elastomere Berücksichtigung, Werkstoffe wie POM¹⁶ und PTFE¹⁷ wurden nicht ausgewertet. Eine Fertigung von z.B. Gleit- oder Stützringen aus diesen Werkstoffen bedarf keiner besonderen Berechnung und kann ohne großen Aufwand an CNC-Drehmaschinen durchgeführt werden. Auch in der Software finden diese daher keine Berücksichtigung. Eine Dichtungsfertigung aus PTFE, besonders aus Compounds wie den gefüllten Typen (mit bis zu 40% Bronze, Glas oder Grafit) bedarf besonderer Werkzeuge und Fertigungstechnologien und soll daher in der Hand des Spezialisten bleiben.

¹⁶ Polyoxymethylen (Kurzzeichen POM) ist ein hochmolekularer thermoplastischer Kunststoff mit hoher Steifigkeit, niedrigen Reibwerten und thermischer Stabilität.

¹⁷ Polytetrafluorethylen (Kurzzeichen PTFE) ist ein thermoplastischer Kunststoff mit einer Kältebeständigkeit bis -200°C und ist dauerwärmebeständig bis +260 °C. PTFE wird weder von Lösungsmitteln noch von anderen aggressiven Chemikalien angegriffen.

Für die verschiedenen Werkstoffe wurden auf Grund dieser Auswertung 54 Halbzeugdimensionen laut nachfolgender Tabelle 4-2 aus dem Produktionsprogramm von Tesnila Bogadi ausgewählt, bzw. die Produktpalette um fehlende Dimensionen erweitert.

Die tatsächlich verwendbaren Durchmesser hängen natürlich im Einzelfall von den Dimensionen der verwendeten Maschine ab, im Besonderen vom zur Verfügung stehenden X-Weg.

Innendurchmesser / Außendurchmesser		
0/32	66/103	136/207
0/43	66/118	146/207
0/64	66/134	146/222
13/32	74/118	156/222
13/43	74/134	156/238
22/43	74/150	165/205
22/64	86/134	165/225
27/64	86/158	165/245
27/74	86/166	185/245
27/87	96/134	185/265
37/74	96/158	185/285
37/87	106/150	205/285
44/74	106/166	225/285
44/87	116/166	225/305
44/96	116/174	245/305
56/87	126/174	245/325
56/103	126/190	265/325
56/118	136/190	265/345

Tabelle 4-2: Halbzeugdimensionen ¹⁸

¹⁸ Halbzeug ist der Oberbegriff für vorgefertigte Rohmaterialformen wie beispielsweise Bleche, Stangen und Rohre.

Aus der durchgeführten Auswertung geht ebenfalls hervor, dass über 70% der Profilgeometrien auf Stangendichtungen, Kolbendichtungen und Abstreifer fallen. Für den Beginn wurden also die wichtigsten Vertreter dieser Dichtungsgruppen in die Programmerstellung aufgenommen.

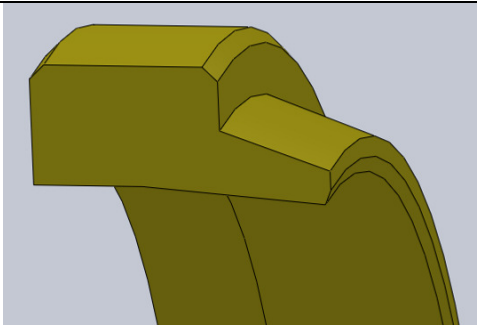
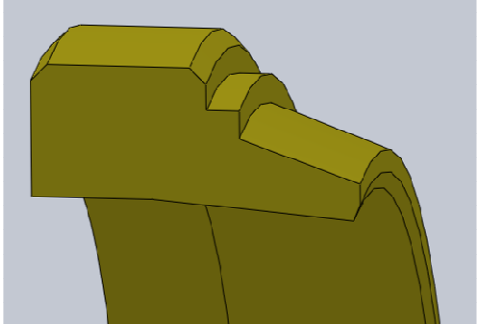
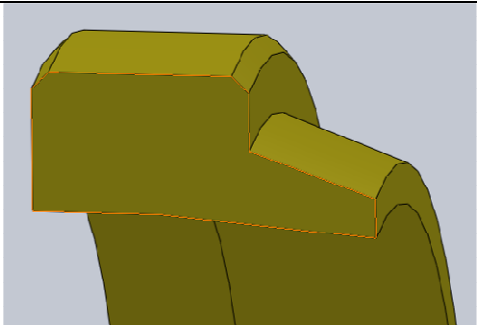
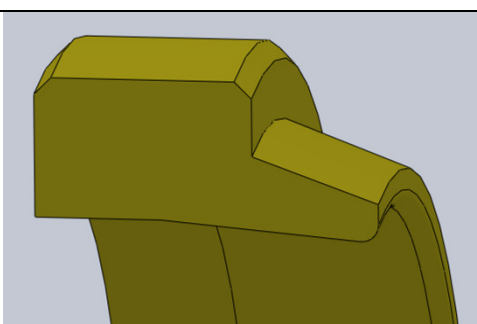
Abstreifer für geschlossene Einbauräume - einstufig	
Abstreifer für geschlossene Einbauräume - zweistufig	
Abstreifer für geschlossene Einbauräume - einstufig ohne Fase	
Pneumatikabstreifer	

Tabelle 4-3: Dichtprofile der Kategorie Abstreifer

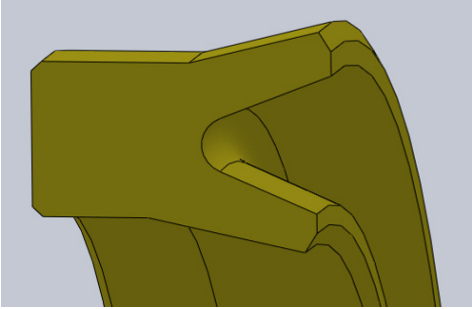
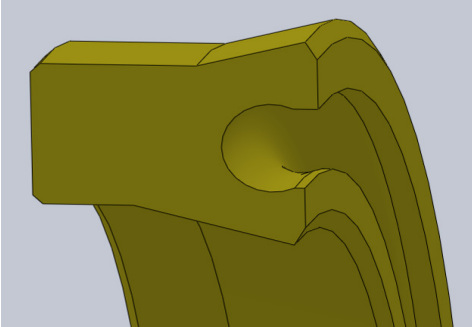
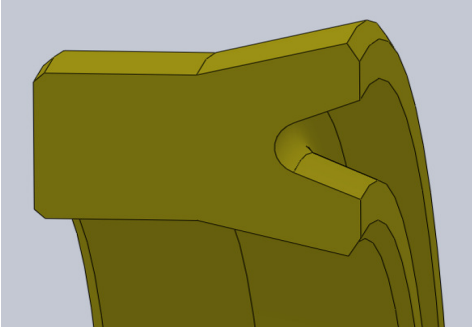
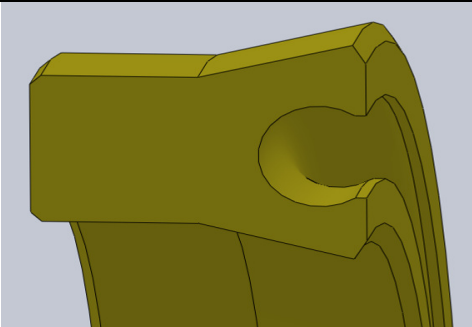
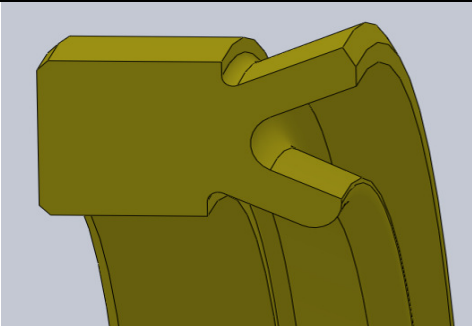
Stangendichtung	
Stangendichtung mit zusätzlichem Federelement	
Symmetrische Stangendichtung	
Symmetrische Stangendichtung mit zusätzlichem Federelement	
Pneumatikstangendichtung	

Tabelle 4-4: Dichtprofile der Kategorie Stangendichtungen

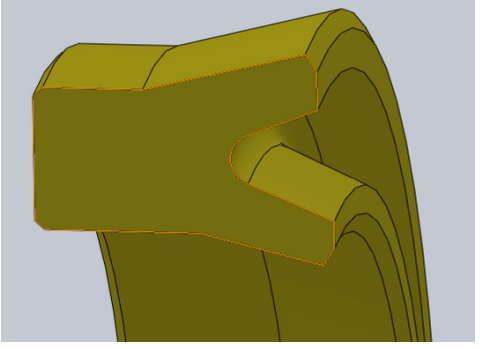
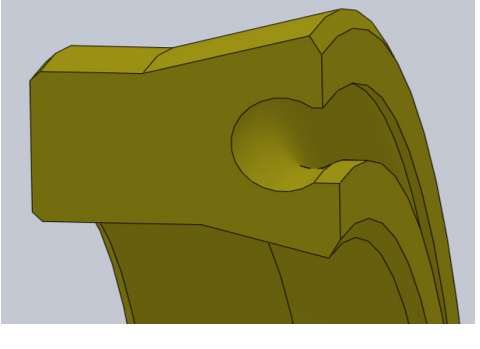
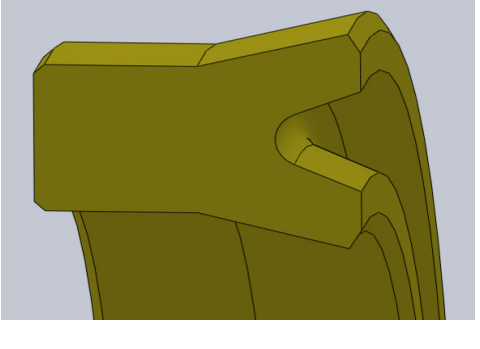
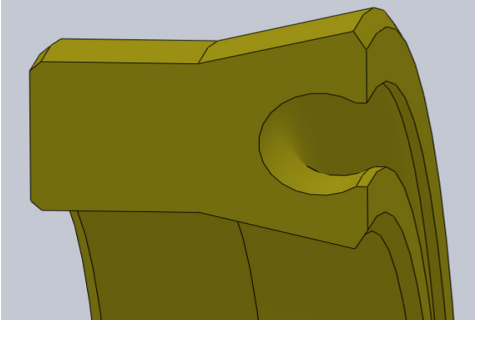
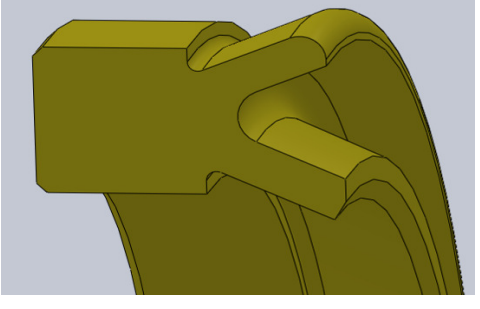
Kolbendichtung	
Kolbendichtung mit zusätzlichem Federelement	
Symmetrische Kolbendichtung	
Symmetrische Kolbendichtung mit zusätzlichem Federelement	
Pneumatikkolbendichtung	

Tabelle 4-5: Dichtprofile der Kategorie Kolbendichtungen

4.2 Bearbeitungswerkzeuge

Wie im Kapitel 2.3 beschrieben, haben sich polierte Standardwendeschneidplatten für Aluminium am besten zur Zerspaltung der verwendeten Elastomere geeignet. Zurzeit werden auf allen Maschinen der Fa. Bogadi, mit Ausnahme der Sonderwerkzeuge, Wendeschneidplatten des koreanischen Herstellers Korloy verwendet. Diese haben sich bewährt und sollen aus diesem Grund auch weiterhin eingesetzt werden. Zur Außenbearbeitung kann eine Standardwendeschneidplatte der Type „VCGT 110404-AK“ verwendet werden. Ebenso zur Innenbearbeitung ab einem Durchmesser von 42mm. Beide Schneidplatten sind auf einem kombinierten Werkzeug angeordnet. Diese Anordnung wurde gewählt, um die Anzahl der belegten Werkzeugpositionen so gering als möglich zu halten, damit auch bei kleineren Werkzeugwendern genügend Abstand bei der Fertigung von Dichtungen mit großen Durchmessern zwischen den einzelnen Werkzeugen erreicht werden kann. Bei kleinen Dichtungsdurchmessern ist, wie im Punkt 4.2.1 beschrieben, der Einsatz eines weiteren Ausdrehwerkzeugs unproblematisch, da hier auch bei kleinen Werkzeugwendern die Werkzeugabstände ausreichen. Der Grundhalter ist als Sonderwerkzeug so ausgeführt, dass er mit seinem Schaftdurchmesser von 25mm sowohl in den an den meisten Maschinen Verwendung findenden Werkzeughalter mit Zylinderschaft nach DIN 69880 Größe 20 bis 50mm, als auch auf allen anderen maschinenspezifischen Aufnahmen wie z.B. an Mori Seiki Maschinen, problemlos gespannt werden kann. Alle Werkzeughalter sind mit einer Bohrung zur inneren Kühl-Schmiermittelzufuhr ausgestattet, da besonders beim Bearbeiten von thermoplastischen Werkstoffen wie Polyurethane die Gefahr des Aufschmelzen des Materials besteht. Für die Innenbearbeitung des Durchmesserbereichs von 16mm bis 42mm kann ebenfalls eine Standardwendeschneidplatte verwendet werden. Die verwendete Platte ist ebenfalls eine der Type „VCGT“, jedoch der Größe 07, mit der Bezeichnung „VCGT 070404-AK“. Als Träger dient eine handelsübliche Bohrstange mit 12mm Schaft und Innenkühlung. Für den Bereich von 8mm bis 16mm wurde besonders aus dem Aspekt der nur begrenzt zur Verfügung stehenden Werkzeugplätze ein Sonderwerkzeug aus 6mm Hartmetall gewählt. Da speziell in diesem Bereich Vollmaterialien Anwendung finden, ist das Werkzeug so konzipiert, dass sowohl die Bohrung hergestellt, als auch die Innenkontur gedreht werden kann. In der folgenden Abbildung 4-1 ist dieses Werkzeug dargestellt, eine genaue Fertigungszeichnung findet sich im Anhang.

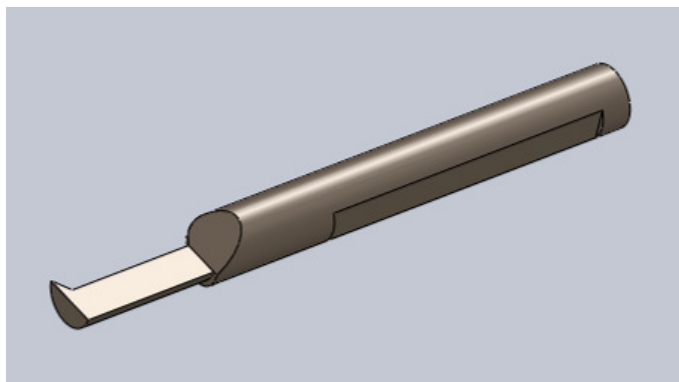


Abbildung 4-1: Innendrehwerkzeug 8mm bis 16mm

Da aus Kollisionsgründen alle Werkzeuge dieselbe Länge haben müssen, dient eine Reduzierhülse mit Außendurchmesser 12mm als Zwischenstück. Zum Plandreihen wird wie zuvor ebenfalls eine VCGT-Wendeschneidplatte desselben Herstellers verwendet, in diesem Fall jedoch der Größe 16 und einem Spitzenradius von 0,8mm. Um mit diesem Werkzeug auch die Planeinstiche fertigen zu können ist es notwendig, die Platte an der Unterseite in einem Winkel von 25° freizustellen, wie in der nächsten Abbildung ersichtlich ist.

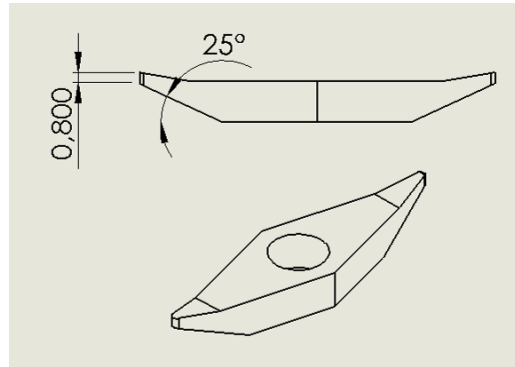


Abbildung 4-2: Freigestellte VCGT16 Schneidplatte für Planeinstiche

Mit diesem Werkzeug ist es möglich Planeinstiche bis 12mm Einstechtiefe und einem Winkel von 18° zur Waagrechten zu fertigen. Als Grundhalter dient wiederum ein Sonderhalter, welcher auch für das weitere Planwerkzeug, das O-Ring Einstechmesser verwendet wird. Dieses O-Ring-Einstechmesser wird zusätzlich zur Schräge an der Unterseite an den Seitenflächen laut Abbildung 4.3 freigeschliffen. Als Ausgangsschneidmittel dient in diesem Fall dieselbe Wendeschneidplatte, jedoch mit einem Spitzenradius von 1,2mm. Die Bezeichnung lautet „VCGT 160412-AK“. Damit ist es möglich, Einstiche für O-Ringschnüre als zusätzliches Federelement im Durchmesserbereich von 2mm bis 8mm zu fertigen.

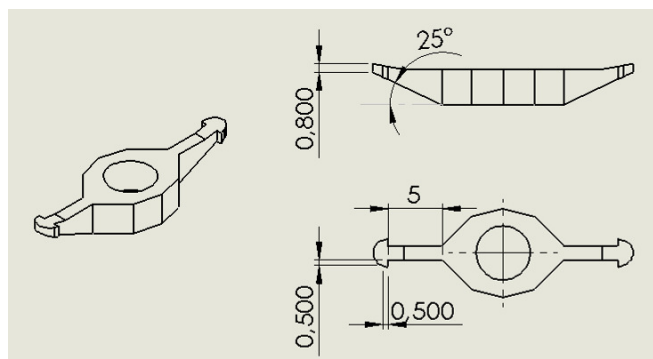


Abbildung 4-3: Freigestellte VCGT16 Schneidplatte für O-Ringeinstiche

Beim Trennen des gedrehten Dichtprofils von Halbzeug wurde auf ein spanloses Abstichwerkzeug zurückgegriffen, welches ebenfalls bereits im Unternehmen eingesetzt wird. Dieses Werkzeug wird in verschiedenen Längen derzeit nicht nur zum Abstechen von PU mit 93-95 Shore A und NBR mit 85 Shore A verwendet, sondern auch bei anderen Anwendungen, wie z.B. zum Abstechen gedrehter Lauf- und Transportrollen für die Glasindustrie mit einer Härte von bis zu 60 Shore D erfolgreich eingesetzt. Die Geometrie ist aus diesen Anwendungen bereits bekannt und erprobt und wurde nur zur optimalen Ausnutzung des Verfahrensweges in der Länge angepasst. Gefertigt wird dieses Werkzeug wie auch das Innendrehwerkzeug aus einem Vollhartmetallstab mit 6mm Durchmesser. Obwohl dieses Abstechwerkzeug nach genauen Vorgaben und unter Einhaltung der Toleranzen gefertigt wurde, hat sich in Versuchen gezeigt, dass jede neue Klinge in X-paralleler Richtung nachjustiert werden muss, um eine planparallele Abstichfläche zu erreichen. Aus diesem Grund wurde ein Werkzeughalter entwickelt, welcher dieses Nachjustieren möglich macht, ohne dass sich die Werkzeuglänge in Z-Richtung ändert. Da die wenigsten Unternehmen, die Drehmaschinen nur für Instandhaltungsaufgaben nutzen, über ein optisches oder elektronisches Werkzeugvoreinstellgerät verfügen, wäre eine solche Längenänderung immer mit einem erheblichen Aufwand und gegebenenfalls auch mit Ausschuss verbunden, da die Werkzeuge in der Maschine durch grobes Voreinstellen und Korrigieren vermessen werden müssen. Es besteht die Möglichkeit, die Klinge in beiden Richtungen um $2,5^\circ$ zu schwenken.

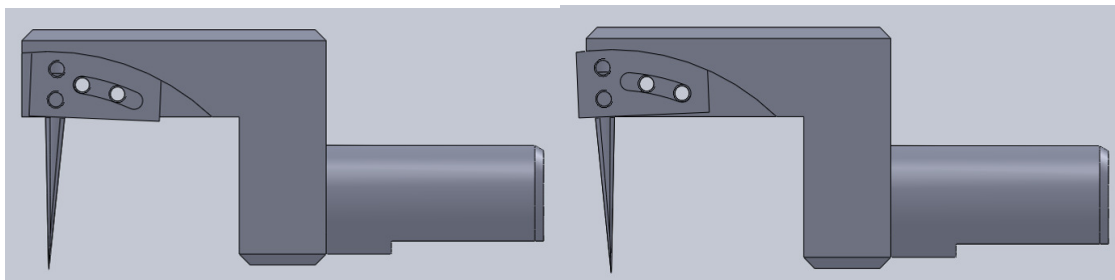


Abbildung 4-4: Abstechwerkzeug

Um die in 4.1 gewählten Profile in den oben angegebenen Dimensionen fertigen zu können, sind daher folgende, in der Tabelle 4-6 nochmals aufgelistete Bearbeitungswerkzeuge notwendig.

<p>Kombiniertes Werkzeug für alle Außenbearbeitungen und zur Innenbearbeitung ab einem Innendurchmesser von 42mm</p>	
<p>Werkzeug zur Innenbearbeitung für Innendurchmesser von 16mm bis 42mm</p>	
<p>Sonderwerkzeug zur Bohr- und Innenbearbeitung für Innendurchmesser von 8mm bis 16mm und Halbzeugen ohne Kernbohrung</p>	
<p>Werkzeug zur Planbearbeitung und zur Herstellung der planseitigen Einstiche mit Ausnahme der O-Ringeinstiche</p>	
<p>Sonderwerkzeug zur Herstellung der planseitigen O-Ringeinstiche</p>	

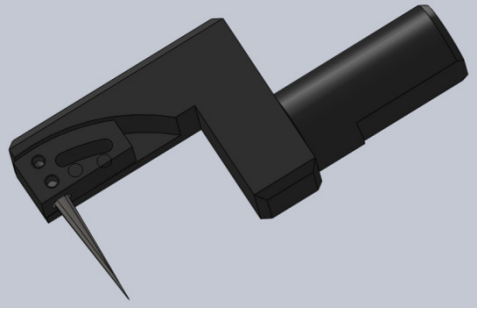
Abstechwerkzeug	
-----------------	--

Tabelle 4-6: Bearbeitungswerkzeuge

4.2.1 Platzverhältnisse in der Maschine

Um die vorhandenen Platzverhältnisse in der Maschine bestmöglich ausnutzen zu können, muss die Anordnung der Werkzeuge möglichst in einer Ebene erfolgen. Die Konstruktion der Halter wurde daher so ausgeführt, dass der Längenunterschied zwischen den Schneiden maximal 5mm beträgt. Die Aufteilung der Werkzeuge auf die zur Verfügung stehenden Positionen muss symmetrisch erfolgen, um den größtmöglichen Abstand zwischen den Werkzeugen zu erreichen und damit den maximalen Drehdurchmesser zu gewährleisten. Da Maschinen mit einer unterschiedlichen Anzahl von Werkzeugpositionen im Werkzeugwechsler ausgestattet sind, muss die Zuordnung der Werkzeuge in der unter Punkt 4.5.4 beschriebenen Programmerstellung variabel gestaltet sein und sich auf die jeweilige Maschine parametrieren lassen. Ebenso muss eine Durchmesserbegrenzung nach oben hin in der Software einstellbar sein, um eine Kollision der Werkzeuge mit dem Halbzeug zu verhindern. Dieser maximale bearbeitbare Durchmesser ist aber nicht nur vom Verfahrenweg der Maschine und vom maximalen Umlaufdurchmesser abhängig, sondern im Besonderen auch von der Anzahl der verfügbaren Werkzeugpositionen und vom Teilkreisdurchmesser dieser am Werkzeugwender. Da diese bei nahezu jedem Maschinentyp anders sind, muss der maximale Durchmesser ebenfalls bei jedem Anwendungsfall ermittelt werden.

Die beiden folgenden Bilder zeigen zwei unterschiedliche Werkzeugwender und die dazu ermittelten maximalen Bearbeitungsdurchmesser. Zur Ermittlung des maximalen Drehdurchmessers wurde ein Halbzeug mit einer Wandstärke von 42,5mm angenommen. Bei einem Nennquerschnitt von höchstens 30mm ist je Dichtungsgeometrie und ihrer zu Grunde liegenden Berechnung mit einem maximalen Querschnitt von 34mm zu kalkulieren. Das angenommene Halbzeug ist daher ausreichend dimensioniert. Aus der Abbildung 4-5 ist ersichtlich, dass selbst bei Maschinen und kleinen Werkzeugwenderdurchmessern, in diesem Fall wurden die Dimensionen einer „Emcoturn E45“ übernommen, aus werkzeugtechnischer Sicht ein Durchmesser von 350mm theoretisch möglich wäre. Bei dieser Maschine wird der Durchmesser jedoch durch den X-Weg auf 266mm begrenzt, wie in Punkt 4.3 noch genauer erläutert wird.

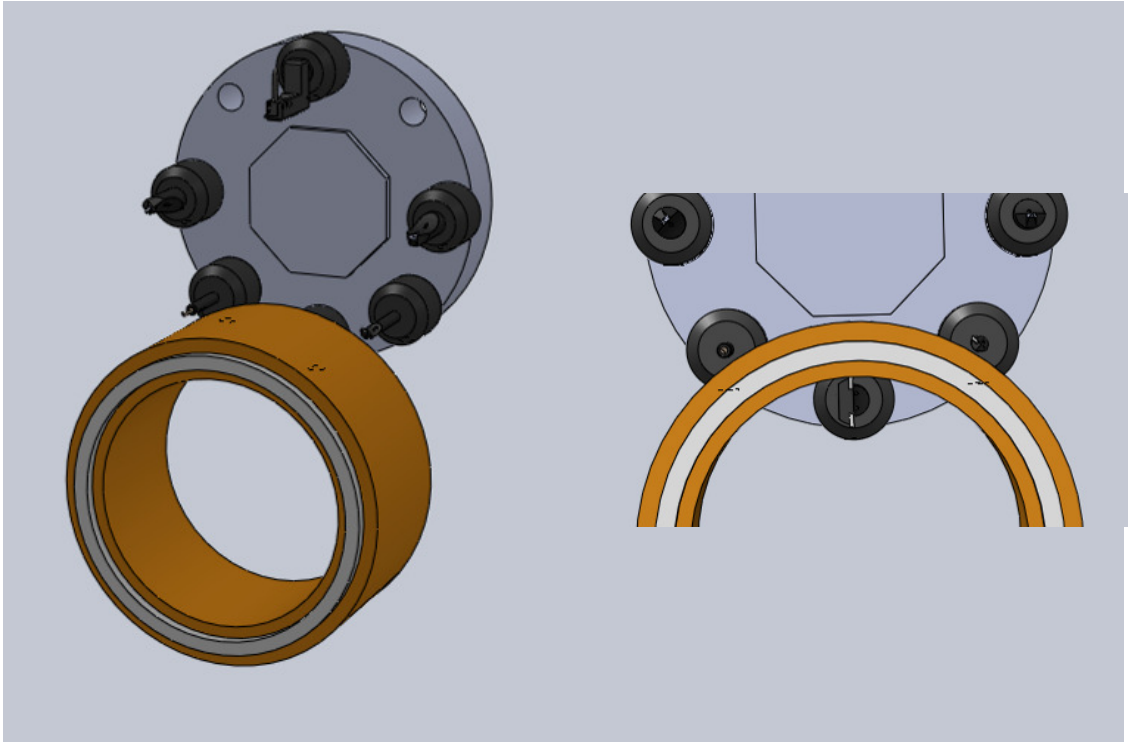


Abbildung 4-5: 8-fach Werkzeugwender Durchmesser 300mm mit Halbzeug 265/350

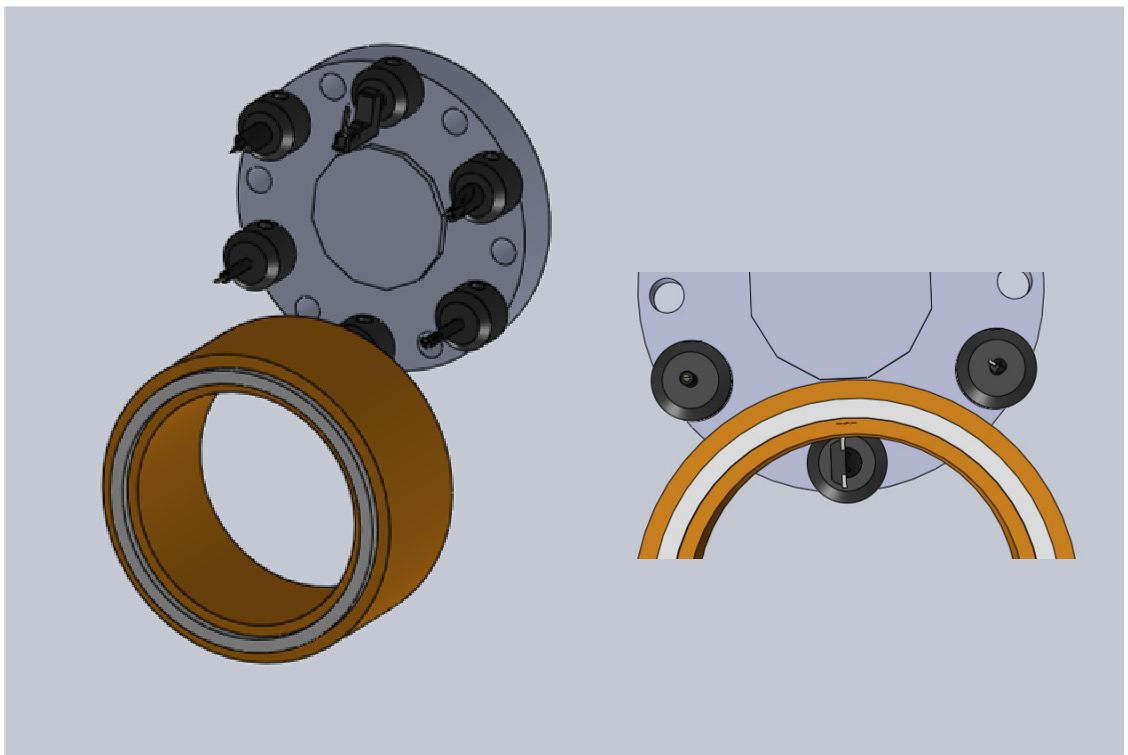


Abbildung 4-6: 12-fach Werkzeugwender Durchmesser 300mm mit Halbzeug 265/350

4.3 Anforderungen an die Maschine

Um die Mindestanforderungen für die Fertigung der Dichtungsprofile erfüllen zu können, müssen die Maschinen folgende Anforderungen unbedingt erfüllen.

Werkzeugwender und Werkzeugkorrekturplätze

Am Werkzeugwender müssen mindestens sechs Werkzeugpositionen zur Verfügung stehen. Sollen in einer späteren Ausbaustufe weitere Dichtungsgeometrien gefertigt werden, für die weitere Sonderwerkzeuge wie Dachmanschettenstichel oder Hakenmesser von Nöten sind, ist eine Mindestanzahl von acht Positionen notwendig. Zu diesen Werkzeugpositionen müssen pro Werkzeugplatz mindestens zwei Werkzeugkorrekturwerte zuordenbar sein. Es müssen daher mehr Werkzeugkorrekturspeicher zur Verfügung stehen, als es Werkzeugpositionen am Wender gibt. Siemens verfügt zum Beispiel in der aktuellen Steuerung „840D“ mindestens über sieben Scheidenkorrekturen pro Werkzeug. Das kombinierte Werkzeug für Außen- und Innenbearbeitung hätte daher an der Schneide zur Außenbearbeitung am Wenderplatz Eins den Aufruf im Programm T01 D01 und an der Schneide zur Innenbearbeitung T01 D02. Für Fanuc und Haas gilt sinngemäß das Gleiche, nur dass die Angaben zum Werkzeugaufruf vierstellig sind, wobei die ersten beiden Stellen den Werkzeugplatz beschreiben, die weiteren die Korrektur. Für Fanuc würde daher der Aufruf T0101 bzw. T0109 lauten.

Verfahrwege und Durchmesser

Um die Halbzeuge in Standardlänge verarbeiten zu können, müssen in Z-Richtung Mindestverfahrwege zu Verfügung stehen. Unabhängig vom gesamten Verfahrweg in Z-Richtung muss, wie im Bild 4-7 ersichtlich ist, eine Position der Werkzeugschneide von 185mm entfernt von der Vorderkante der Spannbacken bzw. 195mm von der Planfläche des Spannfutters erreicht werden. Von dieser Position aus muss ein Verfahrweg von 150mm in Richtung Z- gefahren werden können.

In der X-Richtung begrenzt der Verfahrweg den möglichen Drehdurchmesser. Zur Feststellung des maximalen Drehdurchmessers ist wiederum nicht der gesamte X-Weg, sondern nur der Bereich der über der Drehmitte liegt heranzuziehen. Von diesem muss die Werkzeuglänge in X-Richtung abgezogen werden. Diese beträgt im schlechtesten Fall 19mm. Der Restweg mit Zwei multipliziert ergibt den maximal möglichen Drehdurchmesser.

Spannfutter

Um die im Punkt 4.4 beschriebenen Spannmittel sicher spannen zu können, ist ein Spannfutter mit einem Mindestdurchmesser von 200mm erforderlich. Nach oben hin besteht keine Begrenzung des Futterdurchmessers, da die Werkzeuge so angeordnet sind, dass sie in Z-Richtung nicht hinter die Planfläche des Futters reichen.

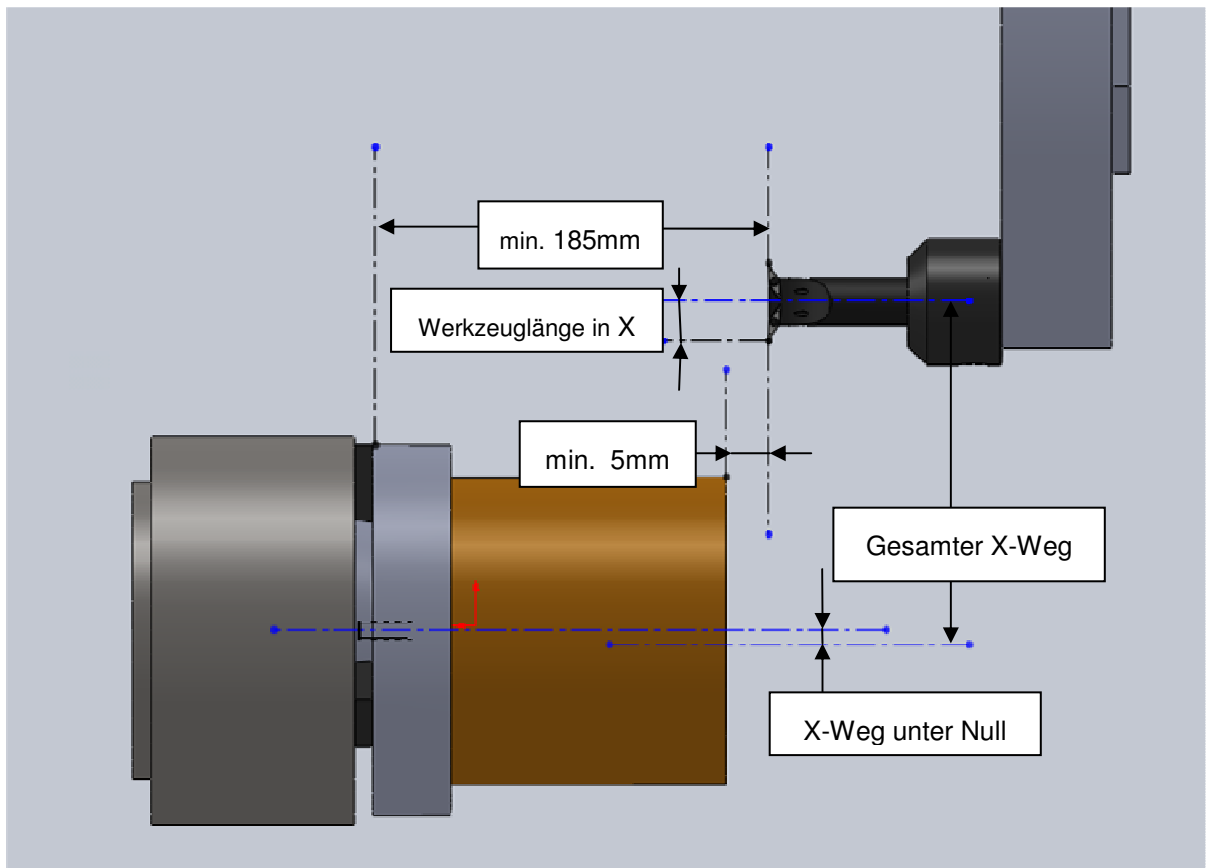


Abbildung 4-7: Verfahrswege

Für die folgenden Beispiele für mögliche Durchmesser und Programmierung wurden zwei unterschiedliche Maschinen gewählt.

Bei der Ersten handelt es sich um ein Fabrikat des österreichischen Herstellers Emco mit der Typenbezeichnung Emoturn 345, ausgestattet mit einer Fanuc 21TB Steuerung. Sie verfügt standardmäßig über 16 Werkzeugkorrekturspeicher. Ausgestattet ist die Maschine mit einem 200mm Hydraulikspannfutter der Firma Röhm, einem 8-fach Werkzeugwender mit VDI30 Aufnahmen und einem Teilkreisdurchmesser von 300mm.

Die Verfahrswege betragen:

Gesamter X-Weg 160mm – davon 154mm über Drehmitte.

Abzüglich der 19mm Werkzeuglänge in des längsten Werkzeugs X-Richtung, ergibt dies einen maximalen Drehdurchmesser von 270mm ($154 - 19 = 135 \cdot 2 = 270$).

Der Z-Weg ist mit 310mm ausreichend und liegt in dem unter Punkt 4.3 geforderten Bereich.¹⁹

¹⁹ EMCO Maier GesmbH, <info@emco.at>: EMCO TURN E45. URL: <[http://www.emco-world.com/de/produkte/industrie/drehen/cat/11/d/2/p/30%2C11/pr/emcoturn-e45.html?tx_commerce_pi1\[view\]=2&cHash=ccc8f72fe9](http://www.emco-world.com/de/produkte/industrie/drehen/cat/11/d/2/p/30%2C11/pr/emcoturn-e45.html?tx_commerce_pi1[view]=2&cHash=ccc8f72fe9)>, 3.4.2013

Als zweite Maschine wurde die Spinner TC 400/52 gewählt, welche auch im Projekt verwendet wird. Sie ist mit einer Siemens 840D ausgestattet. Jede der 12 Werkzeugpositionen verfügt über 7 Korrekturspeicher. Der 12-fach Werkzeugwender hat einen Teilkreisdurchmesser von 300mm und ebenfalls VDI 30 Aufnahmen. Das Hydraulikspannfutter hat einen Durchmesser von 250mm.

Die Verfahrswege betragen:

Gesamter X-Weg 200mm – davon 192mm über Drehmitte.

Abzüglich der 19mm Werkzeuglänge des längsten Werkzeugs in X-Richtung, ergibt dies einen maximalen Drehdurchmesser von 346mm ($192 - 19 = 173 \cdot 2 = 346$).

Als Z-Weg stehen ausreichende 515mm zur Verfügung und auch die Werkzeuganordnung im 12-fach Wender erlaubt die 346mm Drehdurchmesser, wie im Bild 4-6 ersichtlich ist.²⁰

4.3.1 Werkzeugaufnahmesysteme

Am Markt befindliche Maschinen verwenden oft unterschiedliche Aufnahmesysteme für die Drehwerkzeuge. Während in Deutschland bzw. in der EU produzierte Maschinen meist mit Werkzeugaufnahmesystemen nach DIN 69880 (VDI 3425) ausgestattet sind, sind auf asiatischen und amerikanischen Maschinen uneinheitliche Systeme in Verwendung. Haas, MAZAK, Okuma oder Mori Seiki, um nur einige zu nennen, sind am Markt häufig anzutreffende Maschinen mit eigenen Aufnahmen. Neben den VDI-Aufnahmen und den maschinenbezogenen Sonderaufnahmen zählen auch Capto²¹ und HSK-Adaptionen zu den möglichen Varianten. Bei den Aufnahmen nach DIN 69880 werden Größen von 16, 20, 25, 30, 40 und 50mm unterschieden. Industriemaschinen, in einer für die Adaption erforderlichen Größe, verwenden jedoch meist VDI30, VDI40 oder VDI50 Aufnahmen.

Grundsätzlich ist das Grundaufnahmesystem für die Funktion des Gesamtsystems nicht relevant. Wichtig ist jedoch, dass die Werkzeuge so gespannt werden. Dass der X-Weg möglichst optimal ausgenutzt wird und die Werkzeuge in Z-Richtung die gleiche Länge haben. Außer Zweifel steht jedoch, dass eine Anpassung einer Maschine mit Sonderaufnahmen wesentlich höhere Kosten verursacht. Diese müssen im Einzelfall gesondert ermittelt werden.

²⁰ SPINNER Werkzeugmaschinenfabrik, <sales@spinner.eu.com>: TC 400/52. URL: <http://www.spinner-wzm.de/cms/pdf-kataloge/en_gesamt.pdf>, 3.4.2013

²¹ Capto® ist ein modulares Schnellwechsel-Werkzeugkonzept der Fa. Sandvik Coromant



Abbildung 4-8: DIN 69880 (VDI 3425) Werkzeugaufnahmen

4.4 Spannmittel

Um die im Punkt 4.1 festgelegten Dichtungsdimensionen abdecken zu können, ist es notwendig, die dafür gewählten Halbzeuge laut Tabelle 4-2 für die Bearbeitung sicher zu spannen. Nachdem heute auf dem Markt befindliche CNC-Drehmaschinen beinahe ausschließlich mit hydraulischem Spannfutter ausgestattet sind, ist es problematisch, auf Grund der vorhandenen Spannkräfte weiche Materialien, wie die verwendeten Elastomere direkt zu spannen. Erste Versuche erfolgten mit Rundspannbacken, welche möglichst den gesamten Durchmesser umschlossen. Dabei hat sich herausgestellt, dass an der verwendeten Maschine auch bei geringstem möglichem Spanndruck eine derartige Verformung der Halbzeuge auftritt, dass Dichtungen aus den letzten 40 bis 50mm nicht mehr zu fertigen waren, da die Toleranzen nicht eingehalten werden konnten. Außerdem sollen die bereits in der eigenen Fertigung verwendeten Halbzeuge, welche einen aufgeschweißten Spannring aus Polyamid²² besitzen, verwendet werden. Bei diesen ist bei den Versuchen auch beim geringsten einstellbaren Spanndruck in vielen Fällen der Spannring gebrochen.

Da ein Eingriff in die Systematik der Standardmaschine, wie z.B. eine Reduktion des Spanndrucks und die Änderungen am Druckwächter nicht erfolgen soll, musste eine Art

²² Die Bezeichnung Polyamide wird üblicherweise als Bezeichnung für synthetische, technisch verwendbare thermoplastische Kunststoffe verwendet. Sie werden wegen ihrer hervorragenden Festigkeit und Zähigkeit oft als Konstruktionswerkstoffe verwendet.

Adaptersystem entwickelt werden, welches als Aufnahme für die Halbzeuge dient und sowohl das Verwenden eines hydraulischen Spannftutters, als auch den Einsatz eines Handspannftutters erlaubt.



Abbildung 4-9: Röhmspannfutter KFD-HS 250²³

Abbildung 4-9 zeigt das Spannftutter der Fa. Röhms, welches an der Projektmaschine zum Einsatz kommt. Als Spannbacken dienen 10mm starke Sonderbacken mit einer 10° Schräge an der Spannfläche.

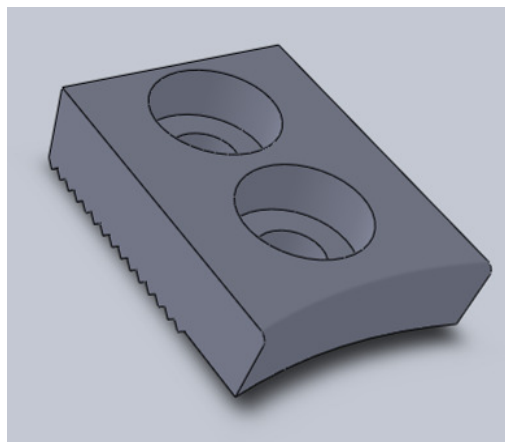


Abbildung 4-10: Sonderbacken mit 10° Schräge

Alle Spannsysteme sind an der Rückseite mit dem gleichen Ansatz ausgeführt, was ein Verstellen der Grundbacken beim Durchmesserwechsel unnötig macht. Die Spannbacken wurden nicht nur aus dem Grund der Platzersparnis so dünn gewählt, sondern wie sich in Versuchen herausgestellt hat, haben die Standardbacken bei höheren Drehzahlen einen Ventilatoreffekt und saugen die leichten Kunststoffspäne in Richtung des Spannftutters, wo sie sich in vielen Fällen verwickelt haben.

²³ RÖHM GmbH, <info@roehm-spannzeuge.com>: KFD-HS. URL: <<http://www.roehm-spannzeuge.com>>, 2.6.2013

Die zuvor erwähnten Spannsysteme wurden in Anlehnung an Spannzangen konstruiert und decken in einem Bereich von 65 bis 210mm Durchmesser je System einen Bereich von mindestens 15mm ab. Das nächste Bild zeigt ein Spannsystem für den Nenndurchmesserbereich von 169 bis 184mm. In der Abbildung 4-11 ist das kleinste Spannsystem im Schnitt dargestellt, um die Funktionsweise zu veranschaulichen.

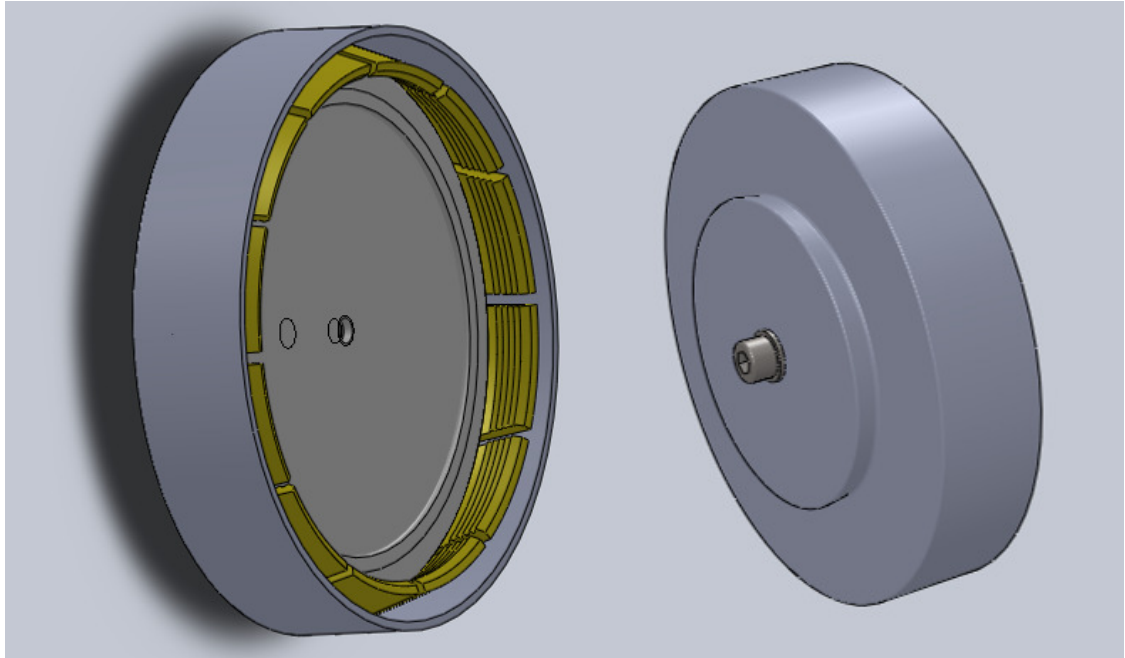


Abbildung 4-11: Spannsystem 169/184

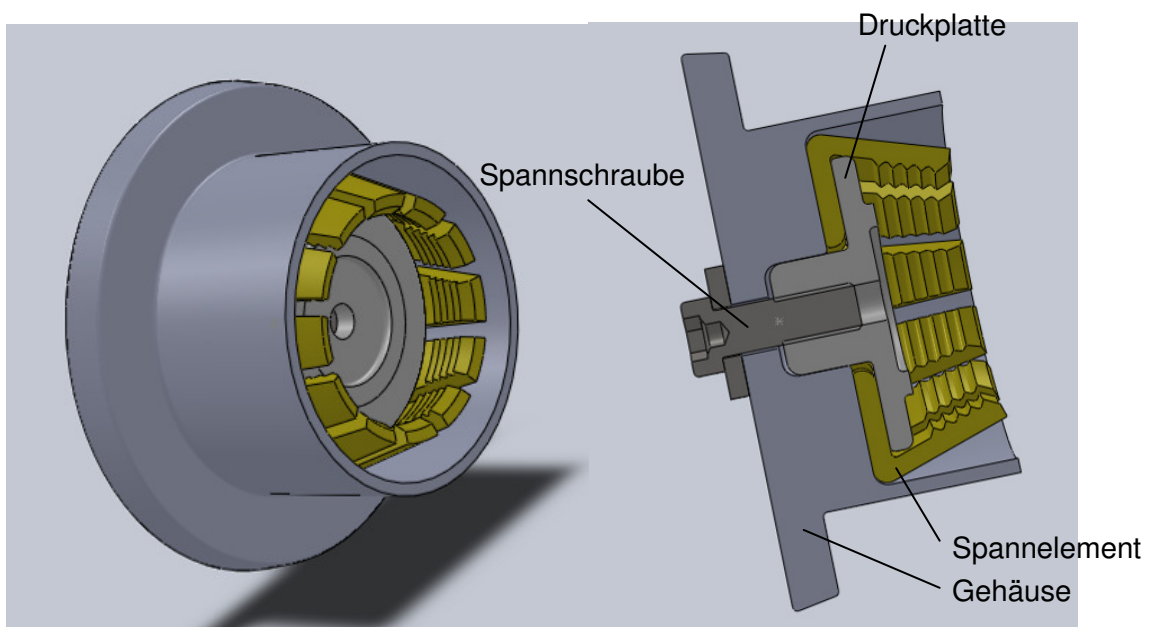


Abbildung 4-12: Spannsystem 65/80

In Versuchen hat sich herausgestellt, dass dieses System bis zu einem Durchmesser von 200mm problemlos funktioniert. Bei größeren Durchmessern verformt sich die Druckplatte

zu stark bzw. ist die Spannkraft durch die Verformung der Platte zu gering und es kommt zu Vibrationen beim Bearbeiten. Bei Durchmessern unter 65mm ist diese Bauform konstruktiv nicht mehr möglich. Der Bereich von 30 bis 65mm musste daher mit einer anderen Konstruktion abgedeckt werden. Abbildung 4-13 zeigt eine der drei Spannzangen, die für diesen Spannungsbereich konstruiert wurden.

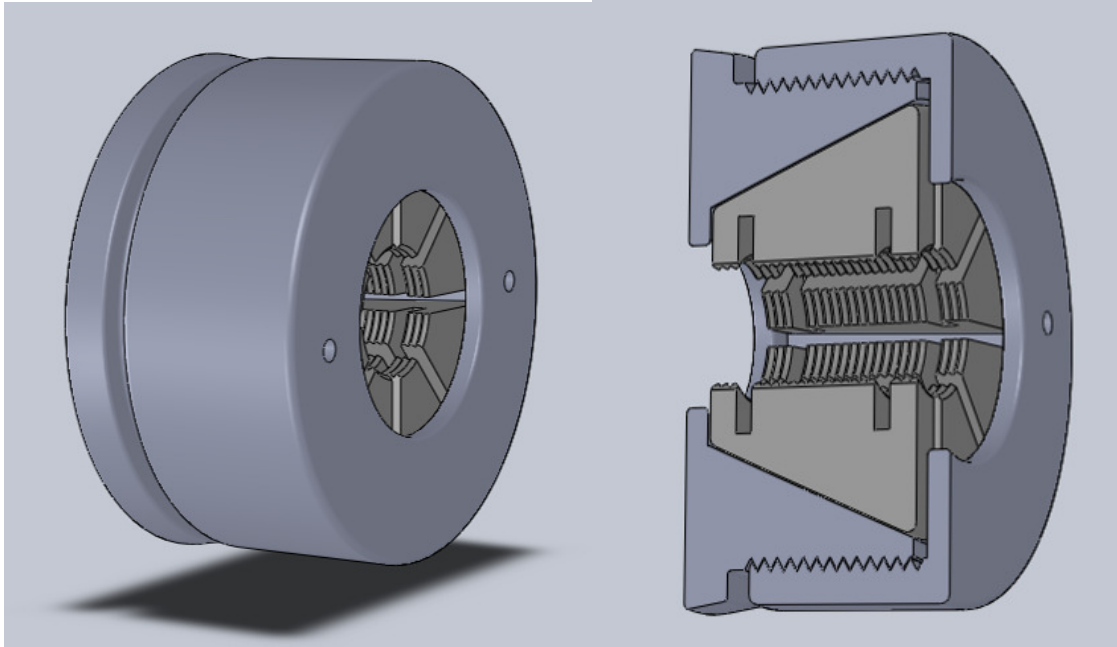


Abbildung 4-13: Spannzange 30/40

Die beiden Einstiche im Spannelement dienen zur Aufnahme von je einem O-Ring aus Polyurethan, welcher die Spannelemente im unbelasteten Zustand auseinander drückt. Ein weiterer Vorteil dieser Konstruktion ist, dass die Halbzeuge bis zum Spannfutter bzw. im Idealfall in die Bohrung des Futters durchgeschoben werden können und die Materialien mit kleinen Durchmessern nicht die gesamte Länge auskragen.

Für die Durchmesser größer 200mm hat sich gezeigt, dass eine einfache Aufspannplatte die effektivste Lösung ist. Das Halbzeug wird dabei auf der Platte mit den Zentriermarkierungen eingerichtet und von hinten mit Spannplattenschrauben, die 8mm in das Material reichen, angeschraubt. Hier können mit einer Spannscheibe alle Durchmesser von 200 bis 350mm abgedeckt werden.

Im ersten Versuch wurden die Spannmittel aus S355 gefertigt. Die Funktion wurde getestet und die maximale Schrägstellung der Spannelemente ermittelt, um mit möglichst wenigen Spannmitteln das gesamte Spektrum abzudecken. Dabei stellte sich heraus, dass die Spannmittel trotz Verwendung einer Kühlschmieremulsion in der richtigen Konzentration durch das ständige Anfassen mit den Händen schnell rostig und unansehnlich wurden. Außerdem war das Handling problematisch, da z.B. das Spannmittel 169/184 ohne Halbzeug bereits 6,5kg wog.

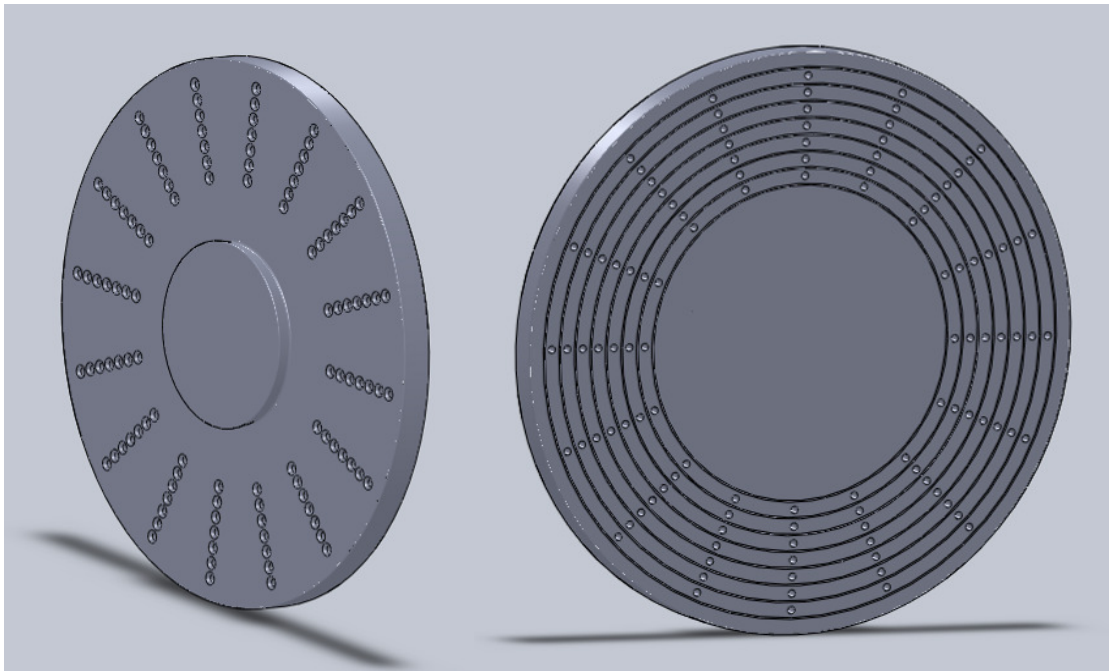


Abbildung 4-14: Spannscheibe 200/350

Aus diesen Gründen wurde entschieden, als Werkstoff hochfestes Aluminium zu verwenden. Als Material fand in weiterer Folge AlZnMgCu1,5 (DIN-Werkstoff Nr.: 3.4365) Anwendung. „Dies besitzt eine Zugfestigkeit von 480N/mm^2 bis 530N/mm^2 , lässt sich mechanisch sehr gut bearbeiten und ist in allen benötigten Dimensionen als Stangenmaterial verfügbar“.²⁴ Der Preis liegt im Gegensatz zu Stahl zwar um das 2,5-fache höher, da aber der Anteil der Materialkosten im Vergleich zu den Fertigungskosten relativ gering ist, wirken sich diese auf die Gesamtkosten des Systems nicht gravierend aus. Ein Kostenüberblick über alle Komponenten befindet sich im Kapitel 6 unter dem Punkt 6.1 Ergebnisse.

²⁴ Batz-Burgel GmbH, <info@batz-burgel.de>: Werkstoffdatenblatt: EN AW – 7075 [AlZnMgCu1,5]. URL: <<http://www.batz-burgel.de>>, 15.9.2012

Zum Abdecken aller Durchmesser sind daher folgende Spannsysteme nach Tabelle 4-7 notwendig.

Art	Spannbereich
Spannzange	30/40
Spannzange	39/49
Spannzange	48/68
Spannsystem	65/80
Spannsystem	78/93
Spannsystem	91/106
Spannsystem	104/119
Spannsystem	117/132
Spannsystem	130/145
Spannsystem	143/158
Spannsystem	156/171
Spannsystem	169/184
Spannsystem	182/197
Spannsystem	195/210
Spannscheibe	136/190

Tabelle 4-7: Spannmittel

4.5 Berechnungssoftware

Je nach Anwendungsfall und Dimension der Dichtung müssen die einzelnen Abmaße des Profils errechnet werden. Diese Berechnung und in weiterer Folge die automatische Erstellung des CNC-Programms soll durch Eingabe der Einbauraumabmessungen erfolgen. Dazu wurde eine entsprechende Software erstellt, die für jedes Dichtungsprofil eine Eingabemaske für den Einbauraum bereitstellt und nach Eingabe dieser, so wie der Halbzugdimensionen und des Materials alle für die Fertigung relevanten Maße errechnet. Als Programmiersprache wurde aus dem Grund der Kompatibilität Visual Basic 2010™ gewählt. Es ist auf allen 32 und 64bit Windows Betriebssystemen lauffähig und Konflikte mit anderen Officeanwendungen sind nicht zu erwarten. An Rechenleistung und Arbeitsspeicher gibt es keine besondere Anforderung und das Programm ist daher auf nahezu jedem Officerechner lauffähig.

Im Gegensatz zu den zu Beginn des Projekts festgelegten Profilreihen, wurden im laufenden Projekt doch Gleitringdichtungen und Führungsringe hinzugefügt. Ebenfalls wurde eine Auswahl für Sonderprofile angelegt, über die in weiterer Folge kundenspezifische Profile aufgerufen werden können.

4.5.1 Profilauswahl

Als erster Schritt erfolgt die Auswahl der Dichtungsgruppe.

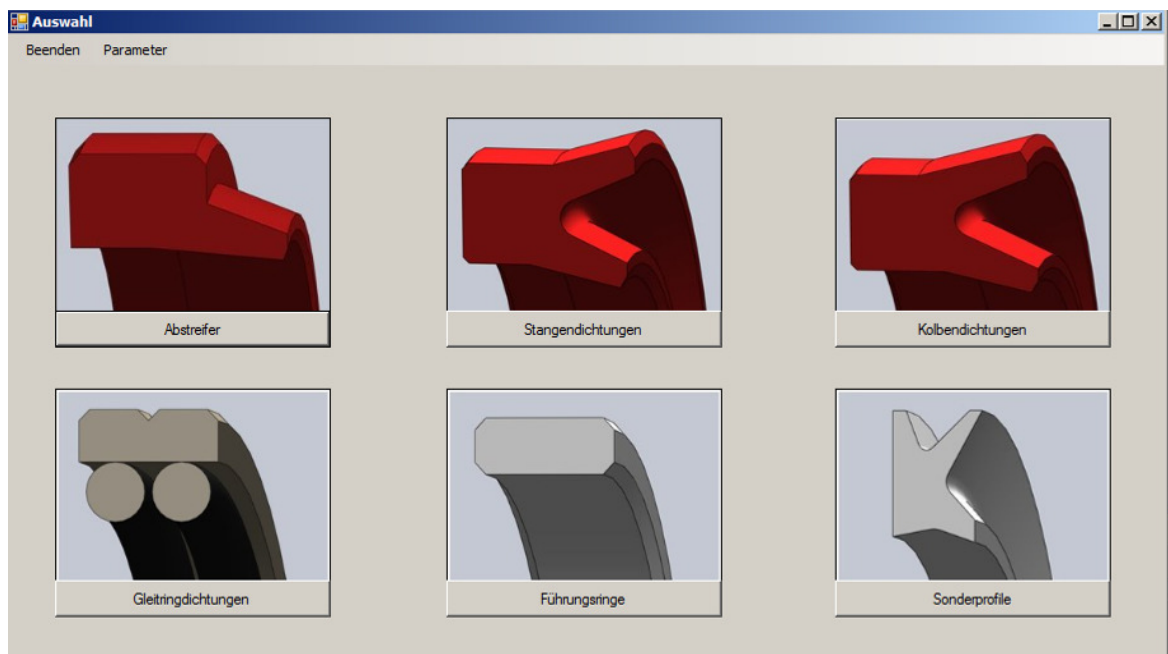


Abbildung 4-15: Auswahl der Dichtungsgruppe

Von dort aus wird die Auswahl der einzelnen Profile dieser Gruppe aufgerufen.

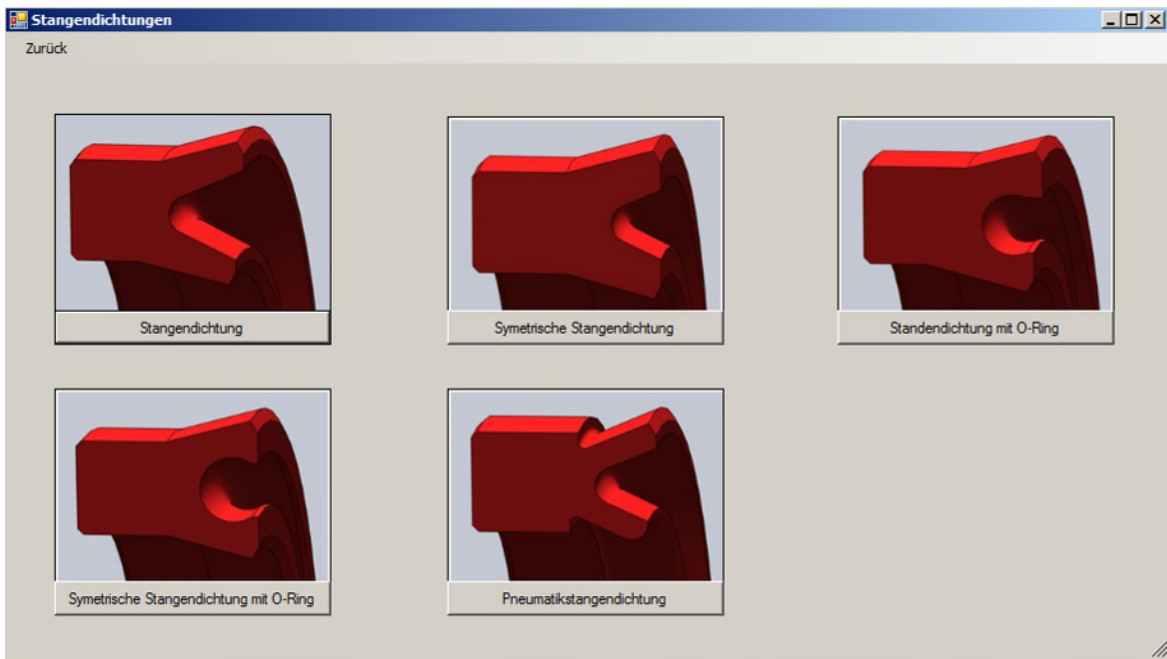
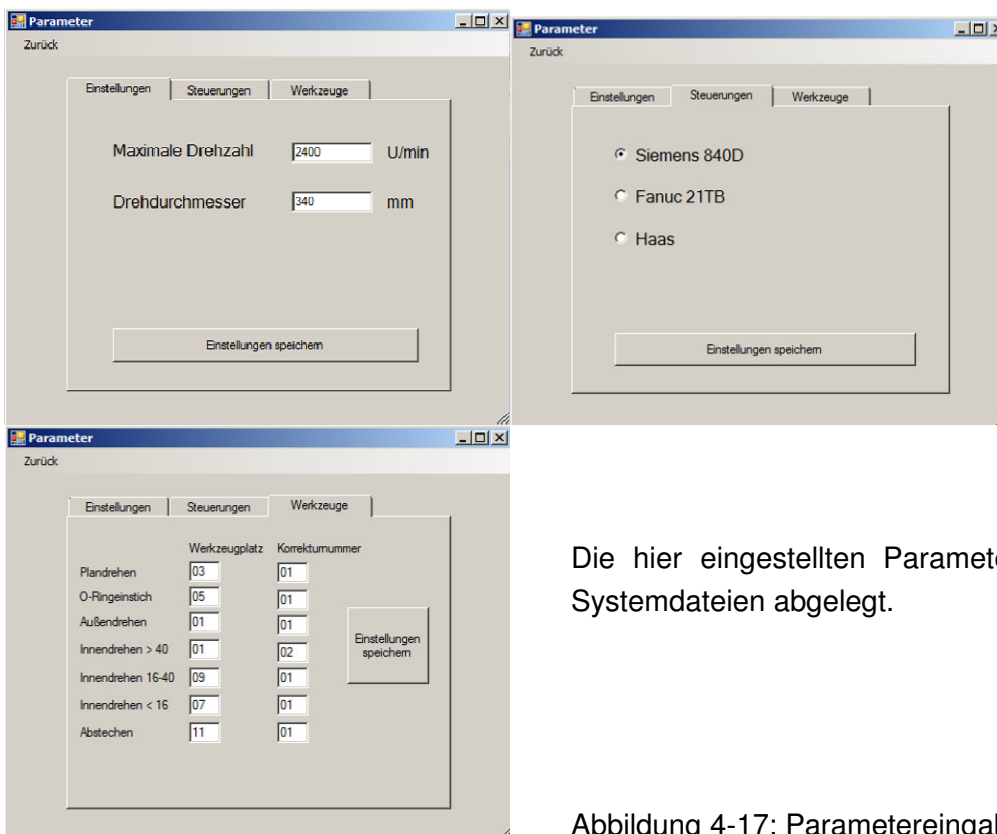


Abbildung 4-16: Auswahl des Dichtungsprofils

4.5.2 Eingabemaske und Parameter

Von der ersten Auswahlform können neben den Profilauswahlen auch noch drei Parameterfelder aufgerufen werden. In diesen werden der maximale Außendurchmesser, die maximale Drehzahl, die verwendete Steuerung und die maschinenspezifische Werkzeugzuordnung festgelegt.



Die hier eingestellten Parameter werden in Systemdateien abgelegt.

Abbildung 4-17: Parametereingabe

Nach Auswahl eines Profils wird die Eingabemaske geöffnet.

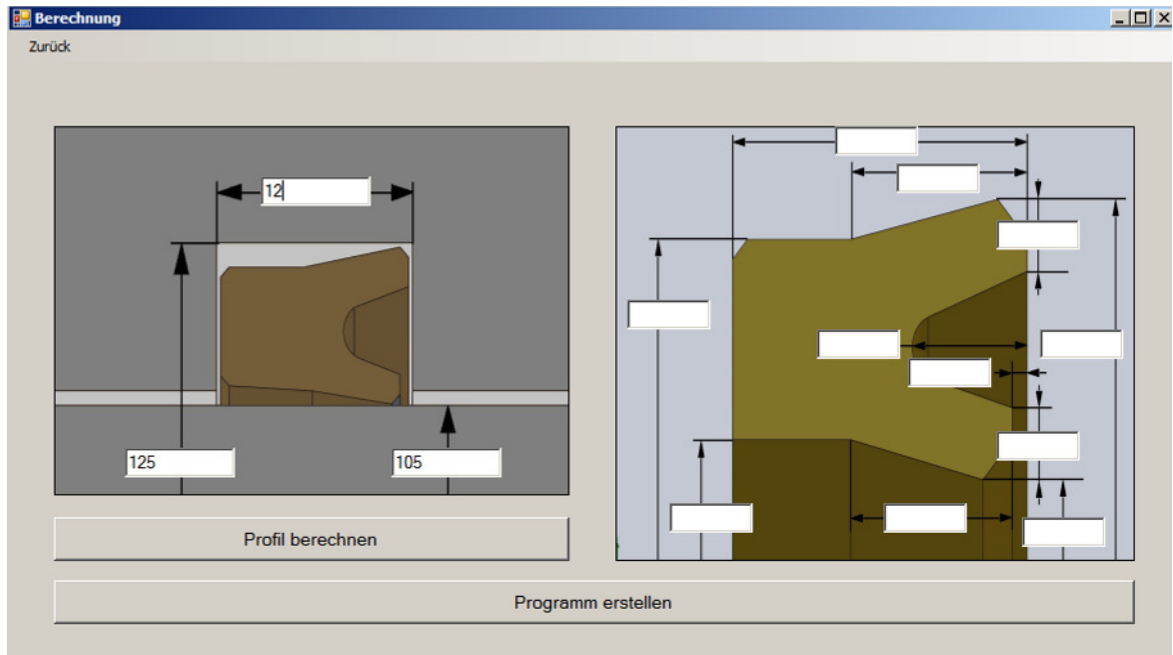


Abbildung 4-18: Eingabemaske

Hier erfolgt die Eingabe der Einbauraumabmaße. Nach Bestätigung durch klicken des Buttons „Profil berechnen“ folgt die Dimensionierung der verwendeten Variablen, eine Abfrage auf Dimensions- und Eingabefehler, die Berechnung der einzelnen Werte und das Zurückschreiben der Werte in die Anzeige. Weiters wird der Parameterwert „maximaler Durchmesser“ eingelesen und überprüft.

4.5.3 Profilberechnung

```
Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Button1.Click
```

```
    Dim na As Single  
    Dim ni As Single  
    Dim nh As Single  
    Dim av As Single  
    Dim iv As Single  
    Dim af As Single  
    Dim ie As Single  
    Dim fh As Single  
    Dim vha As Single  
    Dim vhi As Single  
    Dim sa As Single  
    Dim si As Single  
    Dim et As Single  
    Dim vs As Single  
    Dim dmax As Single  
    Dim smax As Single  
    Dim r As Single
```

```
    REM maximale Drehzahl und Drehdurchmesser
```



```

    Dim fs As New IO.FileStream("c:\parameter.txt",
IO.FileMode.Open)
    Dim sr As New IO.StreamReader(fs)
    Dim zeile As String
    Dim a As String
    a = 0
    Do Until sr.Peek() = -1
        zeile = sr.ReadLine()
        a = a + 1
        If a = 1 Then smax = zeile
        If a = 2 Then dmax = zeile
    Loop
    sr.Close()

    REM Abfrage der Eingabefehler und Dimensionsfehler
    If TextBox1.Text = "" Or TextBox2.Text = "" Or TextBox3.Text =
"" Then
        MessageBox.Show("Dimensionsfehler", "info",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
        GoTo ende
    End If

    na = TextBox1.Text
    ni = TextBox2.Text
    nh = TextBox3.Text

    If na = 0 Or ni = 0 Or nh = 0 Then
        MessageBox.Show("Dimensionsfehler", "info",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
        GoTo ende
    End If

    If na < ni + 5 Then
        MessageBox.Show("Dimensionsfehler", "info",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
        GoTo ende
    End If
    If na > ni + 56 Then
        MessageBox.Show("Querschnitt zu groß", "info",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
        GoTo ende
    End If
    If nh > 30 Then
        MessageBox.Show("Nennhöhe zu groß", "info",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
        GoTo ende
    End If
    If nh < 3 Then
        MessageBox.Show("Dimensionsfehler", "info",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
        GoTo ende
    End If

    REM Berechnung - Runden auf 2 Kommastellen - zurückschreiben
    af = na + na / 980

```



```

af = Math.Round(af, 2)
av = af + (Math.Sqrt(na) / 20)
av = Math.Round(av, 2)
ie = af - (na - ni) + (na - ni) / 100
If ie > ni + 0.4 Then ie = ni + 0.4
ie = Math.Round(ie, 2)
iv = ie - (Math.Sqrt(ni) / 7)
iv = Math.Round(iv, 2)
fh = nh - (nh / 100)
fh = Math.Round(fh, 2)
vha = fh * 0.58
vha = Math.Round(vha, 2)
vhi = fh * 0.52
vhi = Math.Round(vhi, 2)
sa = (av - ie) / 2 * 0.3
sa = Math.Round(sa, 2)
si = (av - ie) / 2 * 0.28
si = Math.Round(si, 2)
et = fh * 0.32
If et > 8 Then et = 8
et = Math.Round(et, 2)
vs = fh * 0.06
vs = Math.Round(vs, 2)
r = (av - ie) / 2 * 0.25
If r > 4 Then r = 4
If r < 0.85 Then r = 0.85
r = Math.Round(r, 2)
REM Ende Berechnung

REM Abfrage Drehdurchmesser
If av > dmax Then
    MessageBox.Show("Drehdurchmesser zu groß", "info",
    MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
    GoTo ende
End If

REM - zurückschreiben in Anzeige
TextBox4.Text = av
TextBox5.Text = iv
TextBox6.Text = af
TextBox7.Text = ie
TextBox8.Text = fh
TextBox9.Text = vha
TextBox10.Text = vhi
TextBox11.Text = sa
TextBox12.Text = si
TextBox13.Text = et
TextBox14.Text = vs
TextBox15.Text = r
ende:

End Sub

```

Die errechneten Werte werden direkt neben der Eingabe am Profilbild angezeigt.

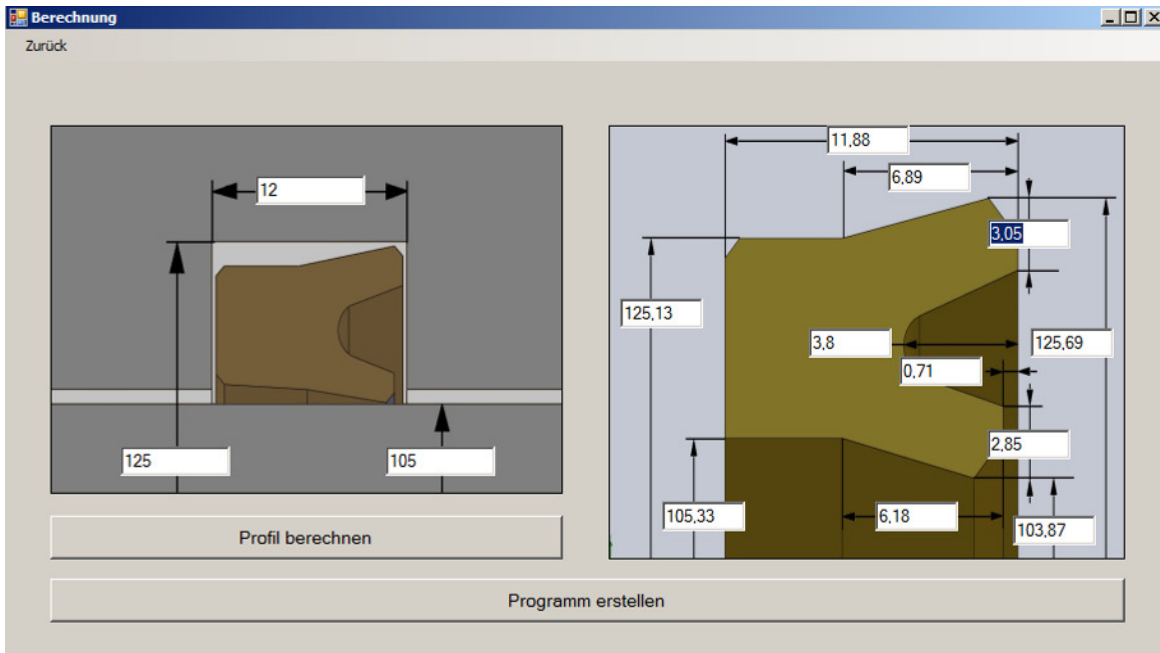


Abbildung 4-19: Anzeige der berechneten Werte

Alle Werte können vor der Erstellung des Programms von Hand überschrieben werden. Bevor das Programm errechnet werden kann, muss jedoch die Halbzeugdimension eingegeben werden. Dazu wird beim betätigen des Buttons „Programm erstellen“ ein Eingabefenster für Material, Außendurchmesser und Innendurchmesser geöffnet. Die Eingabe des Materials ist erforderlich, da einige Materialien wie z.B. NBR mit einer Gießharzmasse ummantelt sind um die Stabilität beim Drehen zu erhöhen. Hier müssen für das Außendrehen zum Nennaußendurchmesser 8mm hinzugerechnet werden.

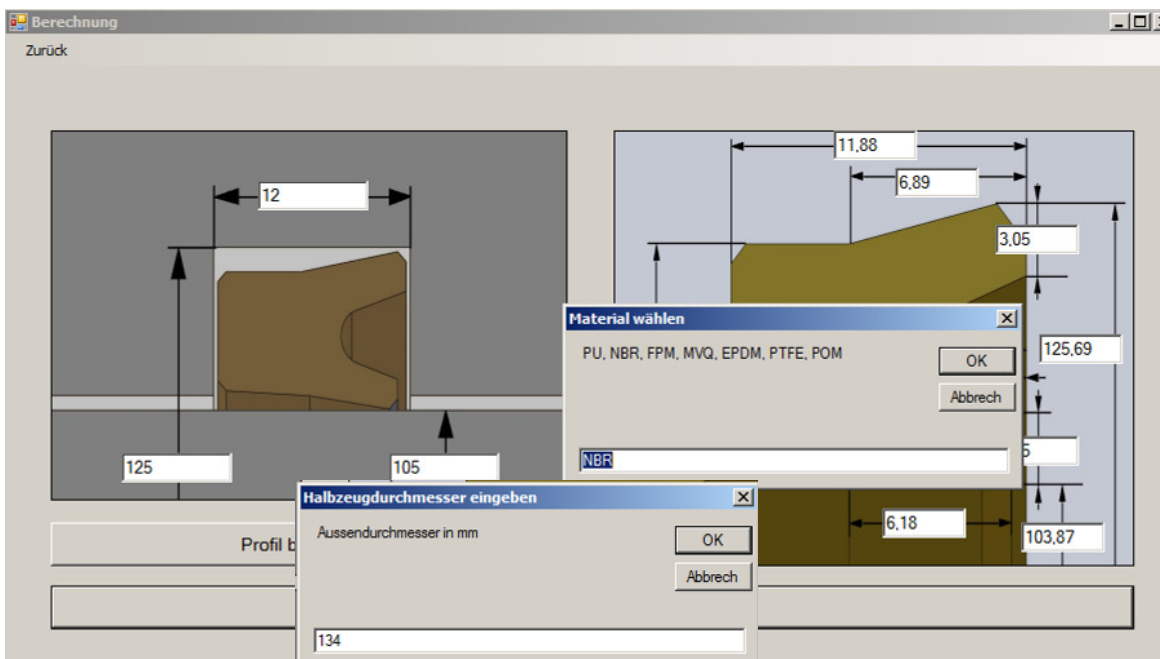


Abbildung 4-20: Halbzeugmaterial- und Durchmesser eingabe

Bei der Bestätigung des Innendurchmessers erfolgt eine Überprüfung der eingegebenen Durchmesserwerte. Die Werte werden danach in eine temporäre Datei geschrieben.

```
Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Button2.Click
```

```
    REM Halbzeugeingabe
    Dim material As String
    material = InputBox("PU, NBR, FPM, MVQ, EPDM, PTFE, POM",
"Material wählen", "NBR")
    If material = "pu" Then material = "PU"
    If material = "nbr" Then material = "NBR"
    If material = "fpm" Then material = "FPM"
    If material = "epdm" Then material = "EPDM"
    If material = "ptfe" Then material = "PTFE"
    If material = "pom" Then material = "POM"
    If material = "mvq" Then material = "MVQ"
    If material = "" Then GoTo ende1
    Dim da As Short
    da = InputBox("Aussendurchmesser in mm", "Halbzeugdurchmesser
eingeben", "")
    Dim di As Short
    di = InputBox("Innendurchmesser in mm", "Halbzeugdurchmesser
eingeben", "")
    REM Durchmesserüberprüfung
    If da <= di Then
        MessageBox.Show("Drehdurchmessereingabe falsch", "info",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
        GoTo ende1
    End If
    If da <= TextBox4.Text Then
        MessageBox.Show("Aussendurchmesser zu klein", "info",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
        GoTo ende1
    End If
    If di >= TextBox5.Text Then
        MessageBox.Show("Innendurchmesser zu groß", "info",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
        GoTo ende1
    End If
    REM Ende Halbzeugeingabe
    REM Halbzeug in Datei schreiben
    Dim out As String
    Dim inn As String
    out = da
    inn = di

    Dim fs As New IO.FileStream("c:\halbzeug.tmp",
IO.FileMode.Create)
    Dim sw As New IO.StreamWriter(fs)
    sw.WriteLine(material + vbCrLf + out + vbCrLf + inn)
    sw.Close()
    REM Ende Halbzeug in Datei schreiben
```

4.5.4 Programmherstellung

Da die einzelnen Werte nach der Berechnung von Hand editiert werden können, müssen sie vor der Erstellung des Programms wieder gelesen und den Variablen zugeordnet werden. Die Parameterdateien für die maximale Drehzahl und die gewählte Steuerung werden eingelesen. Die Halbzugsdimensionen werden aus der temporären Datei zurückgelesen und zum Außendurchmesser 8mm dazugerechnet, wenn es sich um ein Material mit Gusschülle handelt.

REM Werte lesen – Drehzahl und Steuerung einlesen

```
Dim na As Single
Dim ni As Single
Dim nh As Single
Dim av As Single
Dim iv As Single
Dim af As Single
Dim ie As Single
Dim fh As Single
Dim vha As Single
Dim vhi As Single
Dim sa As Single
Dim si As Single
Dim et As Single
Dim vs As Single
Dim r As Single
Dim dmax As Single
Dim smax As Single
```

```
av = TextBox4.Text
iv = TextBox5.Text
af = TextBox6.Text
ie = TextBox7.Text
fh = TextBox8.Text
vha = TextBox9.Text
vhi = TextBox10.Text
sa = TextBox11.Text
si = TextBox12.Text
et = TextBox13.Text
vs = TextBox14.Text
na = TextBox1.Text
ni = TextBox2.Text
nh = TextBox3.Text
r = TextBox15.Text
```

```
Dim cs As New IO.FileStream("c:\parameter.txt",
IO.FileMode.Open)
Dim cr As New IO.StreamReader(cs)
Dim zeile As String
Dim a As String
a = 0
smax = 0
dmax = 0
Do Until cr.Peek() = -1
```

```

        zeile = cr.ReadLine()
        a = a + 1
        If a = 1 Then smax = zeile
        If a = 2 Then dmax = zeile
    Loop
    cr.Close()

    Dim ft As New IO.FileStream("c:\controller.txt",
IO.FileMode.Open)
    Dim ss As New IO.StreamReader(ft)
    Dim controller As String
    Dim b As String
    Dim con As String
    con = 0
    b = 0
    Do Until ss.Peek() = -1
        controller = ss.ReadLine()
        b = b + 1
        If controller = "840D" Then con = 1
        If controller = "21TB" Then con = 2
        If controller = "Haas" Then con = 3
    Loop
    ss.Close()
REM Werte lesen ende

```

Die Werkzeugpositionen werden aus der Parameterdatei eingelesen und den Variablen der Bearbeitungsschritte zugeordnet. Für die gewählte Steuerung werden die Werkzeugkorrekturwerte den Werkzeugpositionen zugeordnet.

```

REM Werkzeuge einlesen und zuordnen
    Dim fu As New IO.FileStream("c:\tools.txt", IO.FileMode.Open)
    Dim st As New IO.StreamReader(fu)
    Dim tools As String
    Dim c As String
    c = 0
    Dim plan As String
    plan = 0
    Dim oring As String
    oring = 0
    Dim aussen As String
    aussen = 0
    Dim innen As String
    innen = 0
    Dim innen16 As String
    innen16 = 0
    Dim innen8 As String
    innen8 = 0
    Dim abstich As String
    abstich = 0
    Dim temptools As String
    temptools = ""
    Dim s As String
    Dim sz As Single
    sz = 0

```

```

sz = (120000 / 3.14) / av
If sz > smax Then sz = smax
s = Math.Round(sz)

Do Until st.Peek() = -1
    tools = st.ReadLine()
    c = c + 1
    If con = 1 Then
        If c = 1 Then plan = "T" + tools
        If c = 2 Then plan = plan + " " + "D" + tools
        If c = 3 Then oring = "T" + tools
        If c = 4 Then oring = oring + " " + "D" + tools
        If c = 5 Then aussen = "T" + tools
        If c = 6 Then aussen = aussen + " " + "D" + tools
        If c = 7 Then innen = "T" + tools
        If c = 8 Then innen = innen + " " + "D" + tools
        If c = 9 Then innen16 = "T" + tools
        If c = 10 Then innen16 = innen16 + " " + "D" + tools
        If c = 11 Then innen8 = "T" + tools
        If c = 12 Then innen8 = innen8 + " " + "D" + tools
        If c = 13 Then abstich = "T" + tools
        If c = 14 Then abstich = abstich + " " + "D" + tools
    End If
    If con = 2 Then
        If c = 1 Then plan = "T" + tools
        If c = 2 Then plan = plan + tools
        If c = 3 Then oring = "T" + tools
        If c = 4 Then oring = oring + tools
        If c = 5 Then aussen = "T" + tools
        If c = 6 Then aussen = aussen + tools
        If c = 7 Then innen = "T" + tools
        If c = 8 Then innen = innen + tools
        If c = 9 Then innen16 = "T" + tools
        If c = 10 Then innen16 = innen16 + tools
        If c = 11 Then innen8 = "T" + tools
        If c = 12 Then innen8 = innen8 + tools
        If c = 13 Then abstich = "T" + tools
        If c = 14 Then abstich = abstich + tools
    End If
    If con = 3 Then
        If c = 1 Then plan = "T" + tools
        If c = 2 Then plan = plan + tools
        If c = 3 Then oring = "T" + tools
        If c = 4 Then oring = oring + tools
        If c = 5 Then aussen = "T" + tools
        If c = 6 Then aussen = aussen + tools
        If c = 7 Then innen = "T" + tools
        If c = 8 Then innen = innen + tools
        If c = 9 Then innen16 = "T" + tools
        If c = 10 Then innen16 = innen16 + tools
        If c = 11 Then innen8 = "T" + tools
        If c = 12 Then innen8 = innen8 + tools
        If c = 13 Then abstich = "T" + tools
        If c = 14 Then abstich = abstich + tools
    End If

```

Loop

```
If material = "NBR" Then da = da + 8
If material = "FPM" Then da = da + 8
If material = "EPDM" Then da = da + 8
If material = "MVQ" Then da = da + 8
REM Werkzeuge einlesen ende
```

Im folgenden Abschnitt wird der CNC-Code für die Bearbeitungsschritte Plandrehen, Außendrehen, Innendrehen und Abstechen erstellt.

REM Programmerstellung

```
Dim pgm As String
pgm = ""

pgm = pgm + "G54" + vbCrLf
pgm = pgm + ";PLANDREHEN" + vbCrLf
pgm = pgm + plan + vbCrLf
temptools = temptools + "PLANDREHEN " + plan + vbCrLf
If con = 1 Then
    pgm = pgm + "G97 " + "S" + s + vbCrLf
End If
If con = 2 Then
    pgm = pgm + "G95 " + "S" + s + vbCrLf
End If
If con = 3 Then
    pgm = pgm + "G95 " + "S" + s + vbCrLf
End If
pgm = pgm + "G0 X" + Trim(Str(da + 2)) + " Z10" + vbCrLf
pgm = pgm + "G0 Z1" + vbCrLf
pgm = pgm + "G1 G41 X" + Trim(Str(da + 2)) + " Z-" +
Trim(Str(Math.Round(2 * sa * 0.45, 2))) + " F0.5" + vbCrLf
pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(av + sa)) + " F0.12" + vbCrLf
pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(av - sa)) + " Z0" + vbCrLf
pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(av - (av - iv) / 2)) + vbCrLf
pgm = pgm + "G1 Z-" + Trim(Str(vs)) + vbCrLf
pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(Math.Round(iv + si, 2))) + vbCrLf
pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(Math.Round(iv - si, 2))) + " Z-" +
Trim(Str(Math.Round(vs + (2 * si * 0.45), 2))) + vbCrLf
pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(di - 2)) + vbCrLf
pgm = pgm + "G0 G40 Z10" + vbCrLf
pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(av - 2 * sa)) + vbCrLf
pgm = pgm + "G1 Z1" + vbCrLf
pgm = pgm + "G1 G41 X" + Trim(Str(av - 2 * sa)) + " Z0" + vbCrLf
pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(Math.Round(af - ((af - ie) / 2) +
(r * 0.8), 2))) + " Z-" + Trim(Str(Math.Round(et - (r * 0.2), 2))) +
vbCrLf
If con = 1 Then
    pgm = pgm + "G3 X" + Trim(Str(Math.Round(af - ((af - ie) /
2), 2))) + " Z-" + Trim(Str(et)) + " CR" + Trim(Str(r)) + vbCrLf
End If
If con = 2 Then
```

```

        pgm = pgm + "G3 X" + Trim(Str(Math.Round(af - ((af - ie) /
2), 2))) + " Z-" + Trim(Str(et)) + " R" + Trim(Str(r)) + vbCrLf
    End If
    If con = 3 Then
        pgm = pgm + "G3 X" + Trim(Str(Math.Round(af - ((af - ie) /
2), 2))) + " Z-" + Trim(Str(et)) + " R" + Trim(Str(r)) + vbCrLf
    End If
    pgm = pgm + "G0 G40 Z10" + vbCrLf
    pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(iv + 2 * si)) + vbCrLf
    pgm = pgm + "G1 Z1" + vbCrLf
    pgm = pgm + "G1 G42 X" + Trim(Str(Math.Round(iv + 2 * si, 2))) +
" Z0" + vbCrLf
    pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(Math.Round(af - ((af - ie) / 2) -
(r * 0.8), 2))) + " Z-" + Trim(Str(Math.Round(et - (r * 0.2), 2))) +
vbCrLf
    If con = 1 Then
        pgm = pgm + "G2 X" + Trim(Str(Math.Round(af - ((af - ie) /
2), 2))) + " Z-" + Trim(Str(et)) + " CR" + Trim(Str(r)) + vbCrLf
    End If
    If con = 2 Then
        pgm = pgm + "G2 X" + Trim(Str(Math.Round(af - ((af - ie) /
2), 2))) + " Z-" + Trim(Str(et)) + " R" + Trim(Str(r)) + vbCrLf
    End If
    If con = 3 Then
        pgm = pgm + "G2 X" + Trim(Str(Math.Round(af - ((af - ie) /
2), 2))) + " Z-" + Trim(Str(et)) + " R" + Trim(Str(r)) + vbCrLf
    End If
    pgm = pgm + "G0 G40 Z10" + vbCrLf
    pgm = pgm + ";AUSSENDREHEN" + vbCrLf
    pgm = pgm + aussen + vbCrLf
    temptools = temptools + "AUSSENDREHEN " + aussen + vbCrLf
    If con = 1 Then
        pgm = pgm + "G97 " + "S" + s + vbCrLf
    End If
    If con = 2 Then
        pgm = pgm + "G95 " + "S" + s + vbCrLf
    End If
    If con = 3 Then
        pgm = pgm + "G95 " + "S" + s + vbCrLf
    End If

```

REM Programmerstellung Schrappspäne außen

```

Dim zusta As Single
Dim anza As Single
Dim schla As Single
schla = 0
anza = 0
zusta = 0
anza = Math.Round((da - av) / 5)
zusta = Math.Round((da - av) / anza, 2)
pgm = pgm + "G0 X" + Trim(Str(da)) + " Z10" + vbCrLf
pgm = pgm + "G0 Z1" + vbCrLf
For schla = 1 To anza

```



```

        pgm = pgm + "G0 X" + Trim(Str(da + 1 - (schla * zusta))) +
vbCrLf
        pgm = pgm + "G1 Z-" + Trim(Str(fh + 2)) + " F0.12" + vbCrLf
        pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(da + 1 - (schla * zusta) + 1))
+ vbCrLf
        pgm = pgm + "G0 Z1" + vbCrLf
Next
        pgm = pgm + "G0 X" + Trim(Str(av)) + vbCrLf
        pgm = pgm + "G1 G42 X" + Trim(Str(av)) + " Z0" + vbCrLf
        pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(av)) + " Z-" +
Trim(Str(Math.Round(sa * 0.22, 2))) + vbCrLf
        pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(af)) + " Z-" + Trim(Str(vha)) +
vbCrLf
        pgm = pgm + "G1 Z-" + Trim(Str(fh - 1)) + vbCrLf
        pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(af - 3)) + " Z-" +
Trim(Str(Math.Round(fh + 0.5, 2))) + vbCrLf
        pgm = pgm + "G1 Z-" + Trim(Str(fh + 2)) + vbCrLf
        pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(av + 1)) + vbCrLf
        pgm = pgm + "G0 G40 Z10" + vbCrLf
If di >= 40 Then
        pgm = pgm + ";INNENDREHEN" + vbCrLf
        pgm = pgm + innen + vbCrLf
        temptools = temptools + "INNENDREHEN " + innen + vbCrLf
        If con = 1 Then
            pgm = pgm + "G97 " + "S" + s + vbCrLf
        End If
        If con = 2 Then
            pgm = pgm + "G95 " + "S" + s + vbCrLf
        End If
        If con = 3 Then
            pgm = pgm + "G95 " + "S" + s + vbCrLf
        End If
    End If
If di < 40 And di >= 16 Then
        pgm = pgm + ";INNENDREHEN" + vbCrLf
        pgm = pgm + innen16 + vbCrLf
        temptools = temptools + "INNENDREHEN " + innen16 + vbCrLf
        If con = 1 Then
            pgm = pgm + "G97 " + "S" + s + vbCrLf
        End If
        If con = 2 Then
            pgm = pgm + "G95 " + "S" + s + vbCrLf
        End If
        If con = 3 Then
            pgm = pgm + "G95 " + "S" + s + vbCrLf
        End If
    End If
If di < 16 Then
        pgm = pgm + ";INNENDREHEN" + vbCrLf
        pgm = pgm + innen8 + vbCrLf
        temptools = temptools + "INNENDREHEN " + innen8 + vbCrLf
        If con = 1 Then
            pgm = pgm + "G97 " + "S" + s + vbCrLf
        End If
        If con = 2 Then

```

```

        pgm = pgm + "G95 " + "S" + s + vbCrLf
    End If
    If con = 3 Then
        pgm = pgm + "G95 " + "S" + s + vbCrLf
    End If
End If

```

REM Programmerstellung Schrappspäne innen

```

Dim zusti As Single
Dim anzi As Single
Dim schli As Single
schli = 0
anzi = 0
zusti = 0
If di >= 40 Then anzi = Math.Round((iv - di) / 5)
If di >= 16 And di < 40 Then anzi = Math.Round((iv - di) / 3)
If di < 16 Then anzi = Math.Round((iv - di) / 2)
zusti = Math.Round((iv - di) / anzi, 2)
pgm = pgm + "G0 X" + Trim(Str(di)) + " Z10" + vbCrLf
pgm = pgm + "G0 Z1" + vbCrLf
For schli = 1 To anzi
    pgm = pgm + "G0 X" + Trim(Str(di - 1 + (schli * zusti))) +
vbCrLf
    pgm = pgm + "G1 Z-" + Trim(Str(fh + 2)) + " F0.12" + vbCrLf
    pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(di - 1 + (schli * zusti) - 1))
+ vbCrLf
    pgm = pgm + "G0 Z1" + vbCrLf
Next
pgm = pgm + "G0 X" + Trim(Str(iv)) + vbCrLf
pgm = pgm + "G1 G41 X" + Trim(Str(iv)) + " Z0" + vbCrLf
pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(iv)) + " Z-" +
Trim(Str(Math.Round(si * 0.22, 2))) + vbCrLf
pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(ie)) + " Z-" + Trim(Str(vhi)) +
vbCrLf
pgm = pgm + "G1 Z-" + Trim(Str(fh + 2)) + vbCrLf
pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(iv - 1)) + vbCrLf
pgm = pgm + "G0 G40 Z10" + vbCrLf
pgm = pgm + ";ABSTECHEN" + vbCrLf
pgm = pgm + abstich + vbCrLf
temptools = temptools + "ABSTECHEN " + abstich + vbCrLf
If con = 1 Then
    pgm = pgm + "G97 " + "S" + s + vbCrLf
End If
If con = 2 Then
    pgm = pgm + "G95 " + "S" + s + vbCrLf
End If
If con = 3 Then
    pgm = pgm + "G95 " + "S" + s + vbCrLf
End If
pgm = pgm + "G0 X" + Trim(Str(av + 3)) + vbCrLf
pgm = pgm + "G0 Z-" + Trim(Str(fh)) + vbCrLf
pgm = pgm + "G1 X" + Trim(Str(ie - 2)) + " F0.15" + vbCrLf
pgm = pgm + "G0 X" + Trim(Str(av + 3)) + vbCrLf
pgm = pgm + "G0 Z10" + vbCrLf

```

```

pgm = pgm + "G0 X200 Z50" + vbCrLf
pgm = pgm + "M30" + vbCrLf
REM Ende Programmerstellung

```

Die verwendeten Werkzeuge werden in eine temporäre Datei geschrieben. Ebenso wird das Programm temporär abgelegt.

```

REM Werkzeuge in Datei schreiben
Dim fv As New IO.FileStream("c:\tools.tmp", IO.FileMode.Create)
Dim sx As New IO.StreamWriter(fv)
sx.WriteLine(tempertools)
sx.Close()
REM Ende Werkzeuge in Datei schreiben
REM Programm in Datei schreiben
Dim bs As New IO.FileStream("c:\programm.tmp",
IO.FileMode.Create)
Dim bw As New IO.StreamWriter(bs)
bw.WriteLine(pgm + vbCrLf)
bw.Close()
REM Ende Programm in Datei schreiben
Programm.Show()
Me.Hide()
ende1:
End Sub

```

Nach der Berechnung wird die Eingabeform geschlossen und das Programm und die benötigten Werkzeuge mit ihrer Position im Werkzeugwender und die dazugehörigen Korrekturen in einer eigenen Form angezeigt. Hier besteht die Möglichkeit, das Programm an die Steuerung zu übertragen. Wenn die Maschinensteuerung vernetzt ist, kann die temporäre Datei in einem Verzeichnis abgelegt werden, auf das die Maschine direkt zugreifen kann. Im aktuellen Fall kann direkt auf die lokale Festplatte zugegriffen werden.

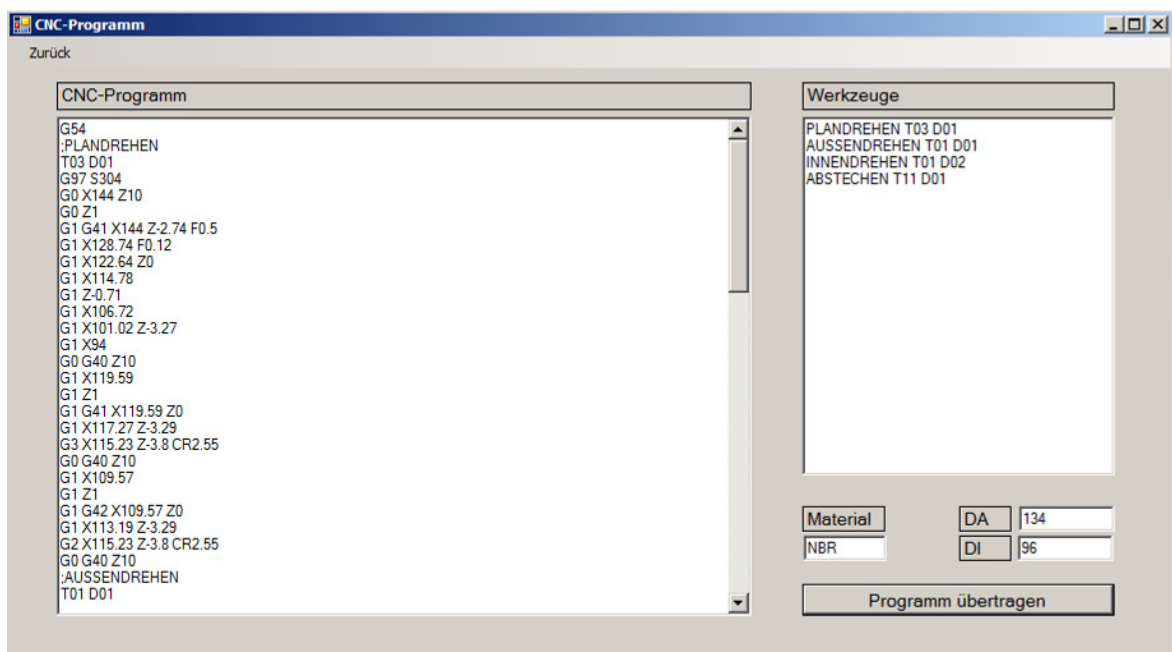


Abbildung 4-21: Programm- und Werkzeuganzeige

4.5.5 Postprozessor

Dieser Punkt sollte geplanter Weise die Beschreibung des Postprozessors beinhalten. Da sich die Programmstruktur der verwendeten Steuerungen jedoch nur in wenigen Punkten unterscheidet, wurde diese Unterscheidung bereits bei der Programmerstellung der einzelnen Profile berücksichtigt. Ein Postprozessor im eigentlichen Sinn ist daher nicht realisiert worden.

Die Unterschiede liegen im Werkzeugaufruf, dem Aufruf des zugeordneten Korrekturwertes, der G-Funktion für konstante Drehzahl und der Bezeichnung des Radius bei Kreisinterpolationen.

Siemens:

T03 D01

G97 S317

G3 X110.22 Z-3.8 CR2.54

Fanuc:

T0303

G95 S317

G3 X110.22 Z-3.8 R2.54

```
If con = 1 Then
    pgm = pgm + "G97 " + "S" + s + vbCrLf
End If
If con = 2 Then
    pgm = pgm + "G95 " + "S" + s + vbCrLf
End If
```

```
If con = 1 Then
    pgm = pgm + "G3 X" + Trim(Str(Math.Round(af - ((af - ie) /
2), 2))) + " Z-" + Trim(Str(et)) + " CR" + Trim(Str(r)) + vbCrLf
End If
If con = 2 Then
    pgm = pgm + "G3 X" + Trim(Str(Math.Round(af - ((af - ie) /
2), 2))) + " Z-" + Trim(Str(et)) + " R" + Trim(Str(r)) + vbCrLf
End If
```

Der Werkzeugaufruf wird bereits zu Beginn beim Auslesen der Werkzeugparameterdatei steuerungsabhängig definiert und den Variablen zugeordnet. Eine Unterscheidung während der Programmerstellung ist daher nicht notwendig.

5 Implementierung

Im folgenden Kapitel werden die Erfahrungen und Probleme dokumentiert, die bei der Erstinstallation des Systems aufgetreten sind.

Aufbau auf einer bestehenden Maschine



Abbildung 4-22: Spinner C 400/52 Maschine der Fa. Bogadi

Wie schon zuvor erwähnt, wurde zur Erstinstallation eine bereits vorhandene Maschine der Fa. Spinner gewählt. Die Maschine ist nicht zu 100% in die Fertigung integriert und eignete sich daher am besten, da die Versuche auch während der regulären Arbeitszeit durchgeführt werden konnten.

Projektrelevante Eckdaten der Maschine:²⁵

Steuerung:	Siemens 840D
Werkzeugwender:	12 Werkzeugpositionen, Teilkreisdurchmesser 300mm, VDI30 Aufnahmen
Spannfutter:	250mm Hydraulikspannfutter

²⁵ SPINNER Werkzeugmaschinenfabrik, <sales@spinner.eu.com>: TC 400/52. URL: <http://www.spinner-wzm.de/cms/pdf-kataloge/en_gesamt.pdf>, 3.4.2013

X-Weg: 200mm – davon 192mm über Drehmitte

Z-Weg: 515mm

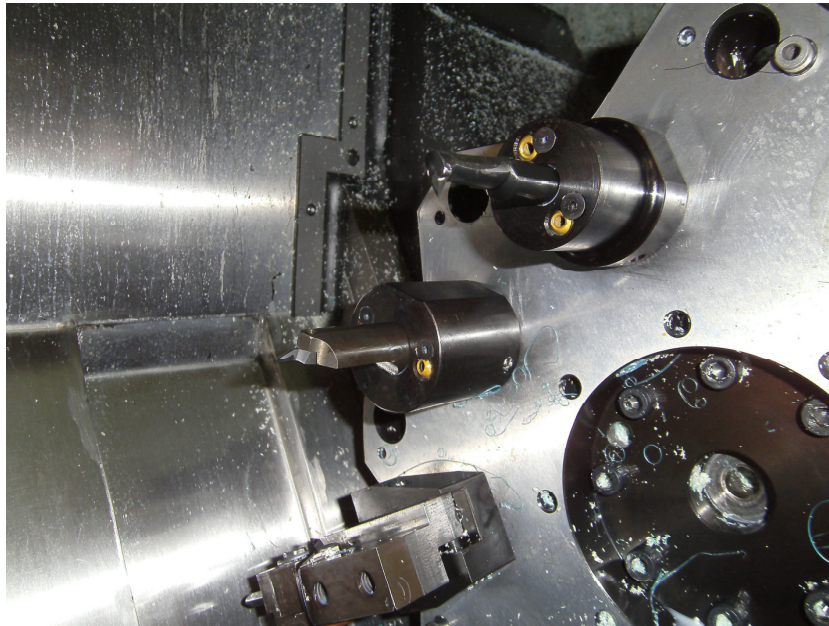


Abbildung 4-23: Spinner C 400/52 mit Werkzeugen

Die Positionen am Werkzeugwender sind an dieser Maschine auf zwei Teilkreise aufgeteilt. Die Aufnahmebohrungen befinden sich abwechselnd am Teilkreisdurchmesser 300mm und 360mm. Die zuvor angegebenen Werte von X-Weg und Drehdurchmesser beziehen sich auf den Teilkreisdurchmesser 300mm, welcher auch ausschließlich verwendet wird.

Die Montage der Werkzeuge und Spannsysteme verlief ohne Probleme. Der Spanndruck wurde auf 12bar eingestellt, wobei 10bar dem Mindestspanndruck entspricht. Die Spannkraft der Spannsysteme ist ausreichend, wobei die Schrägstellung der Spannelemente bereits bei der Entwicklung mehrmals angepasst wurde.

Durch die Tatsache, dass die Maschine mit dem LAN verbunden ist, macht ein eigenes Übertragungstool in diesem Fall überflüssig, da direkt auf das Laufwerk des verwendeten Computers zugegriffen werden kann. Der Pfad der Maschine wurde auf die temporäre Programmdatei am Laufwerk C:\ gestellt.

Um die Testkosten möglichst gering zu halten, wurden von den einzelnen Profilen in den verschiedenen Dimensionen nur einige wirklich gedreht, der Rest wurde über die grafische Simulation der Steuerung überprüft.

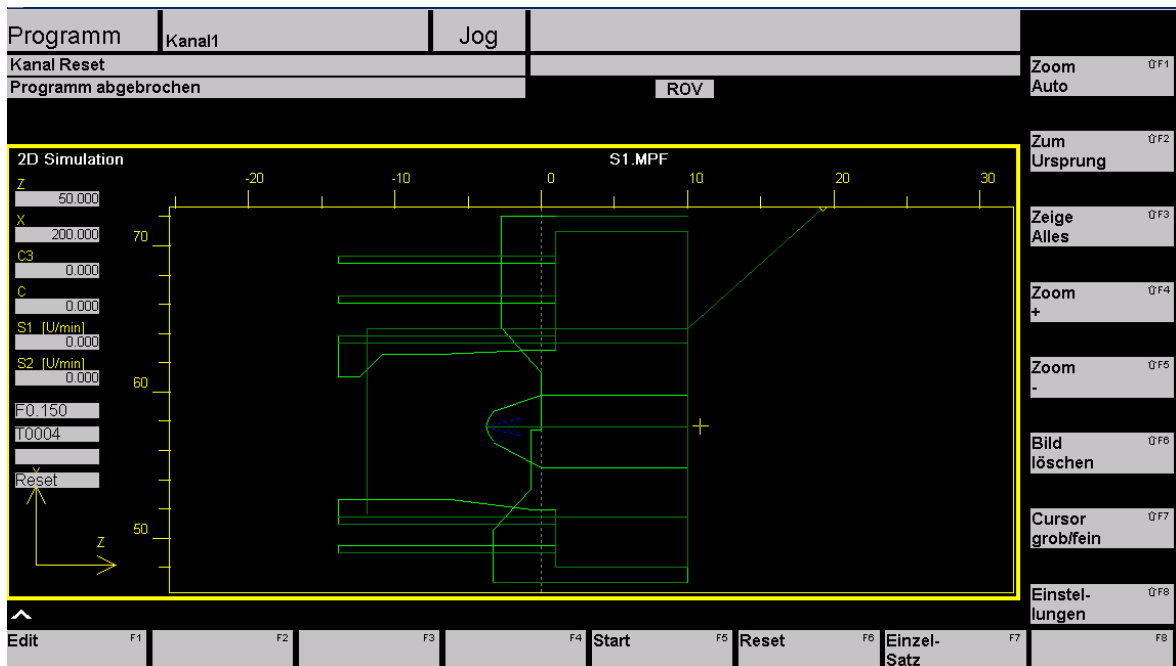


Abbildung 4-24: Bearbeitungssimulation einer Stangendichtung

Der Großteil der im Projektumfang definierten Dichtungsprofile konnte auf diese Weise für Siemenssteuerungen überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden. Eine Überprüfung an der Fanuc Steuerung konnte aus Kapazitätsgründen bis jetzt noch nicht erfolgen. Dies wird geplanter Weise im August nachgeholt, da in diesem Monat urlaubsbedingt eine wesentlich geringere Auslastung zu erwarten ist. Eine Haas Steuerung steht derzeit nicht zur Verfügung und die Software soll daher beim ersten Umsetzen angepasst werden.

Testlauf

Da es sich bei den Werkzeugen zum größten Teil um Standardwerkzeuge handelt, bzw. die Sonderwerkzeuge in ähnlicher Form bereits an anderer Stelle im Unternehmen eingesetzt werden, verliefen die Testläufe in dieser Richtung ohne nennenswerte Probleme. In den automatisch generierten Programmen konnten die Fehler bereits in der Simulationsphase bereinigt werden. Anpassungen betreffend der Drehzahl und des Vorschubs wurden in der Testphase durchgeführt.

Eine tief greifende Änderung musste jedoch in der Software berücksichtigt werden. Die Rückfahrposition der Werkzeuge wurde generell auf Z10 gesetzt. Am Ende der Bearbeitung ist es jedoch nur schwer möglich das restliche Halbzeug auszuspannen, bzw. besteht eine beträchtliche Verletzungsgefahr am Abstichwerkzeug. Es musste vor jedem Ausspannen des Halbzeugs in den Handbetrieb gewechselt werden und das Werkzeug von Hand zurück gefahren werden. Aus diesem Grund musste eine Rückfahrposition in die Softwareerstellung eingefügt werden, welche möglichst weit vom Halbzeug entfernt ist. Da diese aber jeweils vom Z-Weg der Maschine abhängig ist, musste für Maschinen mit Siemenssteuerung das Problem über ein Unterprogramm gelöst werden. Im Programm wird nach jedem Bearbeitungsschritt das Unterprogramm „WZW“ aufgerufen,

in dem individuell die Rückzugsposition definiert werden kann. Bei Fanuc- und Haassteuerungen kann dies über die Programmzeile „G28 U0 W0“ realisiert werden.

Im Programm wurde daher vor jedem Werkzeugwechsel der Unterprogrammaufruf eingefügt. Bei Haassteuerungen darf die Rückfahrzeile nur am Programmende eingefügt werden, da mit dem Aufruf von G28 auch die Nullpunktverschiebung abgewählt wird.

REM Rückfahrposition am Programmende

```
If con = 1 Then
    pgm = pgm + "WZW" + vbCrLf
End If
If con = 2 Then
    pgm = pgm + "G28 U0 W0" + vbCrLf
End If
If con = 3 Then
    pgm = pgm + "G28 U0 W0" + vbCrLf
End If
```

Im Unterprogramm kann jetzt die maximale X- und Z-Position maschinenspezifisch angelegt werden.

„WZW“ (Werkzeugwechsel) Unterprogramm Siemens:

```
G64 G0 G90 G40 G53 D0 X320 Z450
M17
```


6 Ergebnisse und Ausblick

Im abschließenden Kapitel werden die bisher gewonnenen Ergebnisse zusammengefasst und eine Bewertung der Leistung aus Sicht des Autors vorgenommen. Ein Ausblick zeigt Weiterentwicklungspotenziale auf.

Ergebnisse

Das Diplomarbeitsthema „Entwicklung eines geeigneten Systems zur spanabhebenden Fertigung von Hydraulik- und Pneumatikdichtungen.“ ergab sich aus einer Anforderung der Fa. Tesnila Bogadi, ein kostengünstiges System bereitzustellen, welches auf bestehende Drehmaschinen als Zusatzfunktionalität installiert werden kann.

Nach der Findung des Diplomarbeitsthemas wurde der Stand der Technik, die heute üblicherweise eingesetzten Werkstoffe und die Grundlagen der Elastomerzerspanung erläutert. Anschließend wurde die Funktion und die Wirkungsweise von Dichtungen im Zylinder dargestellt.

Als Ergebnis dieser Grundlagen wurde ein Systemkonzept für alle Teilbereiche des Gesamtsystems erarbeitet. Dazu wurden auf Basis des Pflichtenheftes Spannmittel, Werkzeuge und die Software designet.

Die Umsetzung der Konstruktionsarbeiten wurde in Solid Works durchgeführt, die Software wurde mit Visual Basic erstellt. Anschließend wurden die Werkzeuggrundaufnahmen und die Schneideinsätze nach den Fertigungszeichnungen von externen Lieferanten geordert und die Spannsysteme in der eigenen Fertigung hergestellt. Für die Tests des Systems wurde es an einer vorhandenen Maschine installiert, die Funktion der Werkzeuge und Spannmittel getestet und die Dichtungsprofilberechnung an der Siemenssteuerung anhand von Fertigung und Simulation überprüft. Eine Überprüfung der Software für Fanucsteuerungen musste aus Kapazitätsgründen auf den Spätsommer verschoben werden.

Bewertung der Arbeit

Im Rahmen der Diplomarbeit konnten alle vorgegebenen technischen Musskriterien erfüllt werden. Wegen des großen Umfangs der Testreihen und vor allem wegen der Abhängigkeit von freien Produktionskapazitäten ist es jedoch nicht gelungen alle notwendigen Tests im geplanten Zeitraum durchzuführen. Ebenfalls ist eine genau Kostenermittlung und damit ein Verkaufspreis des Systems noch ausständig. Eine überschlagsmäßige Kostenabschätzung hat jedoch ergeben, dass sich der zukünftige Verkaufspreis auf alle Fälle unter dem angestrebten Preis von maximal 25.000 Euro befinden wird.

Auf Grund des großen Vorteils der Anpassbarkeit auf bestehende Drehmaschinen konnten bereits zwei potenzielle Kunden gewonnen werden, mit denen derzeit Verhandlungen geführt werden. Sehr konkret ist die Anpassung des Systems an eine Haas Maschine der Fa. Blechtechnik Eisenerz am Ende des heurigen Jahres.

Ausblick

Um eine marktreife Lösung zu erstellen, ist es zwingend notwendig alle ausstehenden Tests möglich rasch zu absolvieren. Weiters müssen entgegen den ersten Vorgaben weitere Dichtprofile aufgenommen werden. Hier handelt es sich im Besonderen um die Gleitringdichtungen und auch kundenspezifische Sonderprofile sollten ermöglicht werden. Aus sicherheitstechnischen Aspekten ist es unumgänglich, weitere Abfragen in die Software einzubauen. Weitere Parameterfelder zum Editieren von Schnittgeschwindigkeit und Vorschüben sollten eingefügt werden.

Ob die Auswahl an Halbzeugdimensionen den Kundenanforderungen genügen, muss nach Installation der ersten Systeme geklärt werden. Möglicherweise muss der Umfang erweitert werden.

Obwohl noch einiges an Anpassungsarbeit vorzunehmen ist, stimmt das positive Kunden-Feedback auf Grund der ersten Vorstellung sehr positiv für die Zukunft.

Literatur

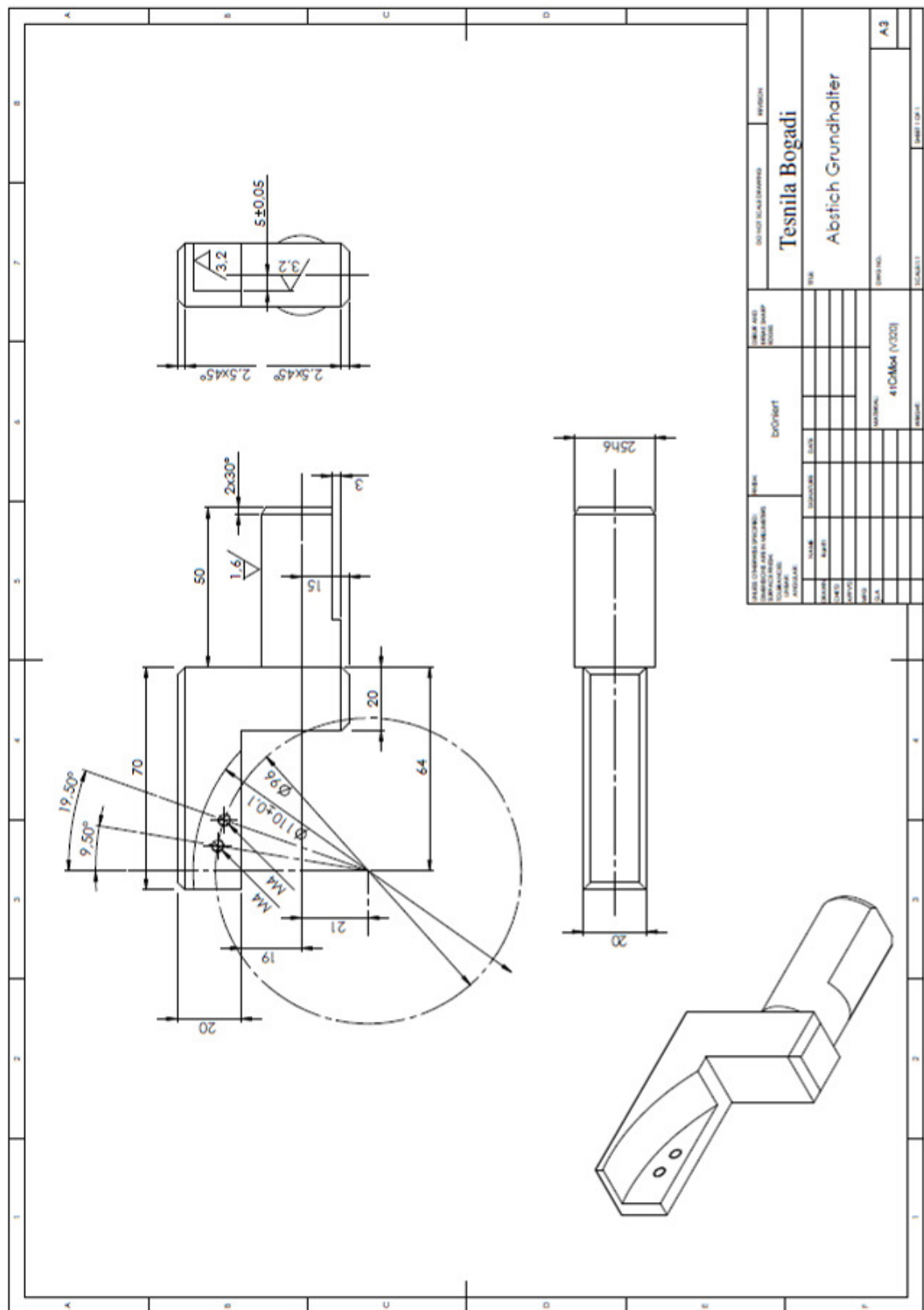
- [Bauer2009] Bauer, Gerhard DI: Ölhydraulik. – 9. Auflage. Wiesbaden: Vieweg und Teubner Verlag, 2009. - 258S
- [Bergmann2008] Bergmann, Wolfgang: Werkstofftechnik 1. – 6. Auflage. München: Hanser Verlag, 2008. – 429S
- [Kumreich1988] Kumreich, Peter DI: Polymere Dichtungswerkstoffe. – 1. Auflage. München: Resch Verlag, 1988. - 217S
- [Menges2002] Menges, Georg DI: Werkstoffkunde Kunststoffe. – 5. Auflage. München: Hanser Verlag, 2002. - 411S
- [Nagdi2002] Nagdi, Khairi Dr.: Gummi-Werkstoffe. – 2. Auflage. Ratingen: Dr. Gupta Verlag, 2002. - 431S
- [Theis2010] Theis, Thomas: Visual Basic 2010. – 2. Auflage. Bonn: Galileo Computing Verlag, 2010. – 467S
- [Uhlig2006] Uhlig, Konrad Dr.: Polyurethan Taschenbuch. – 3. Auflage. München: Hanser Verlag, 2006. - 208S

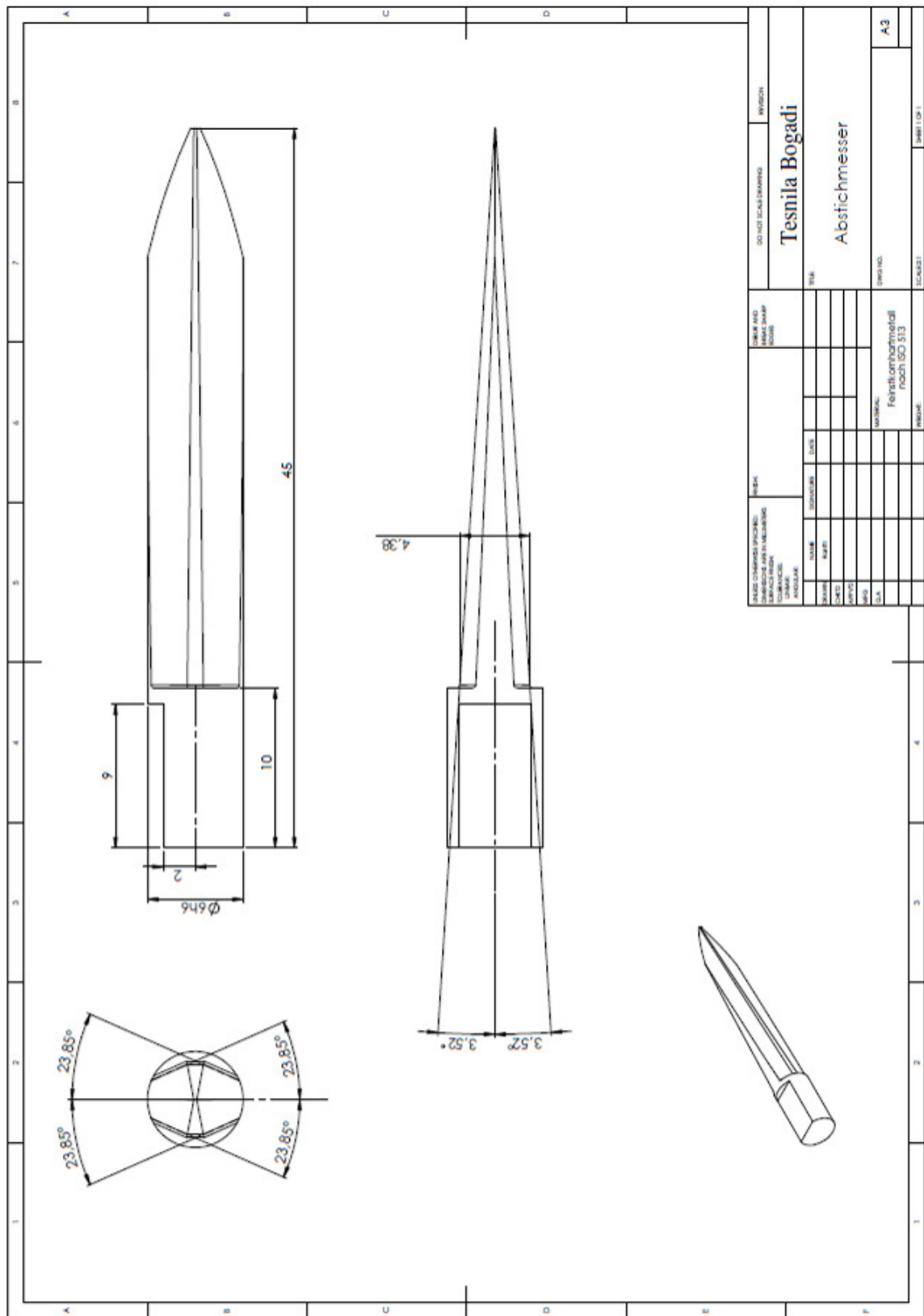
Anlagen

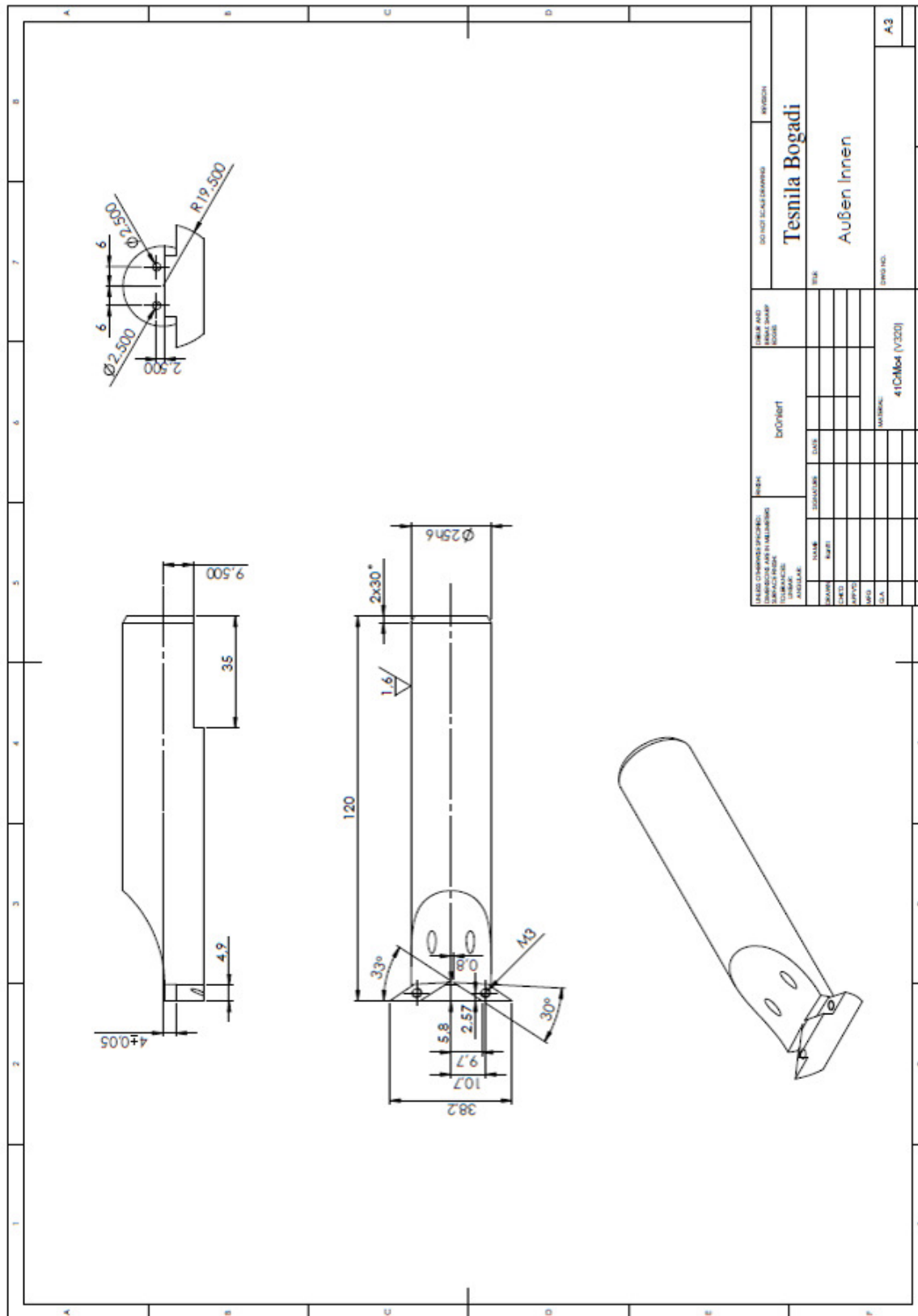
Teil1, Werkzeugzeichnungen.....A1

Teil2, Spannmittelzeichnungen.....A9

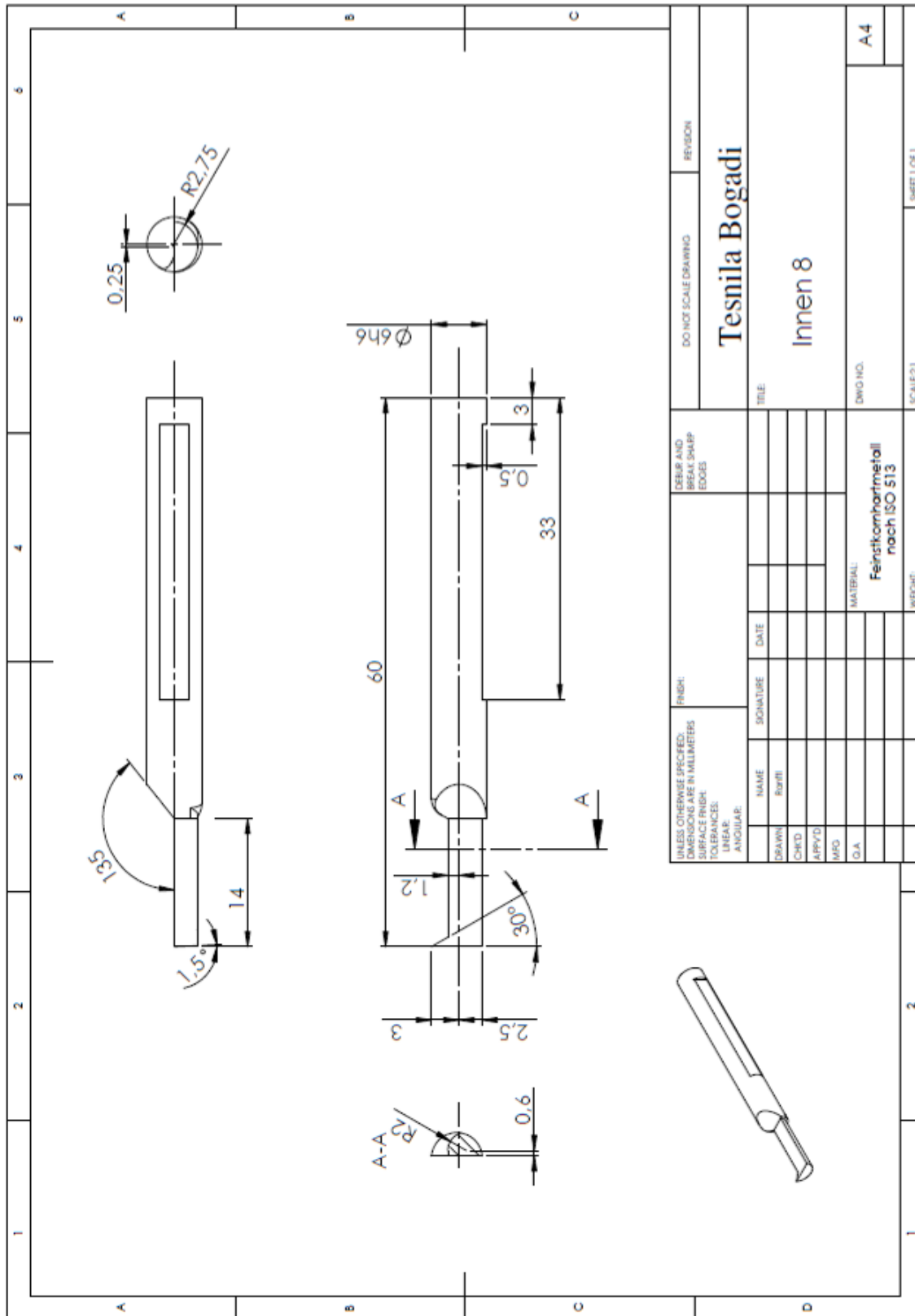
Anlagen Teil1, Werkzeugzeichnungen

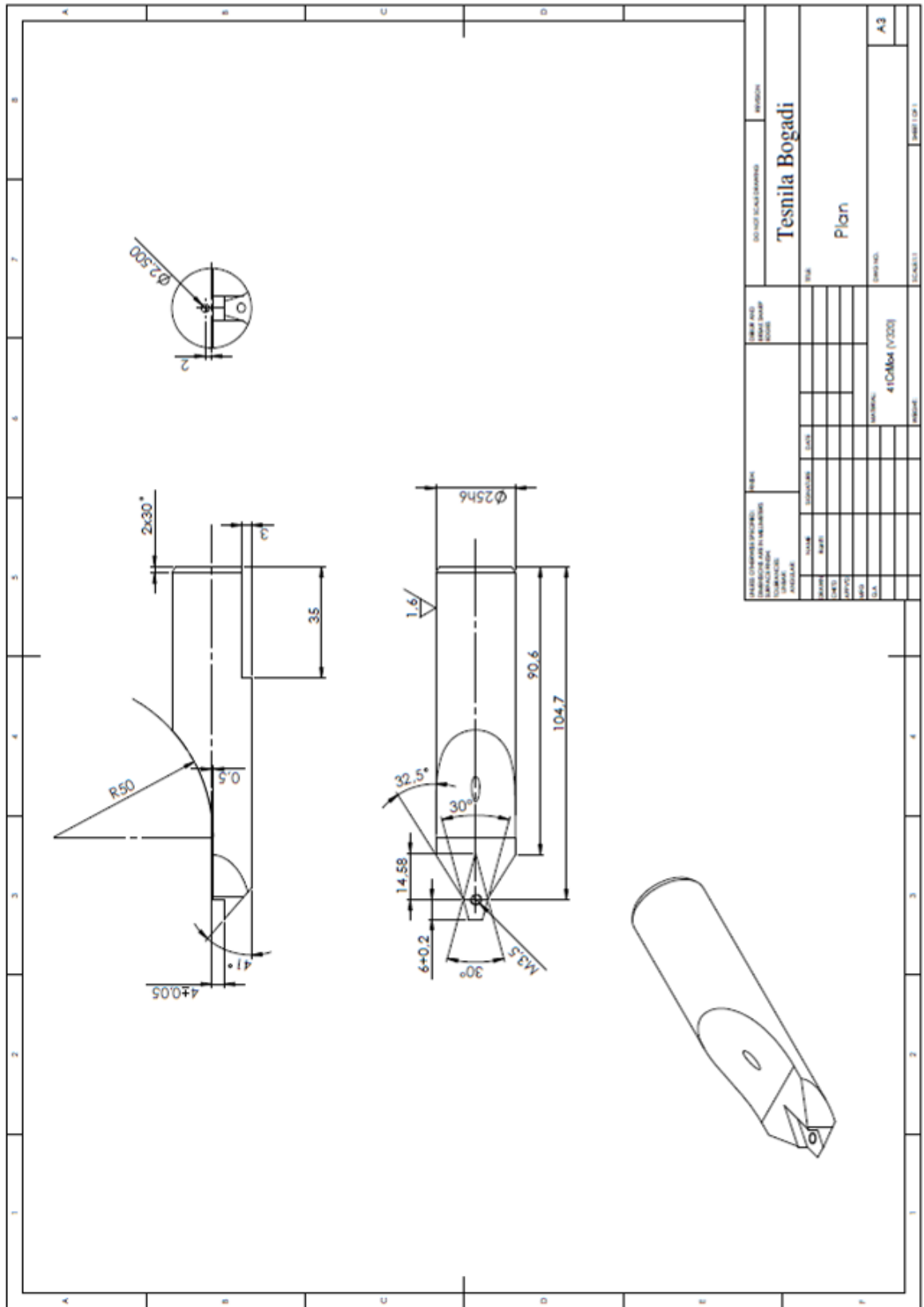


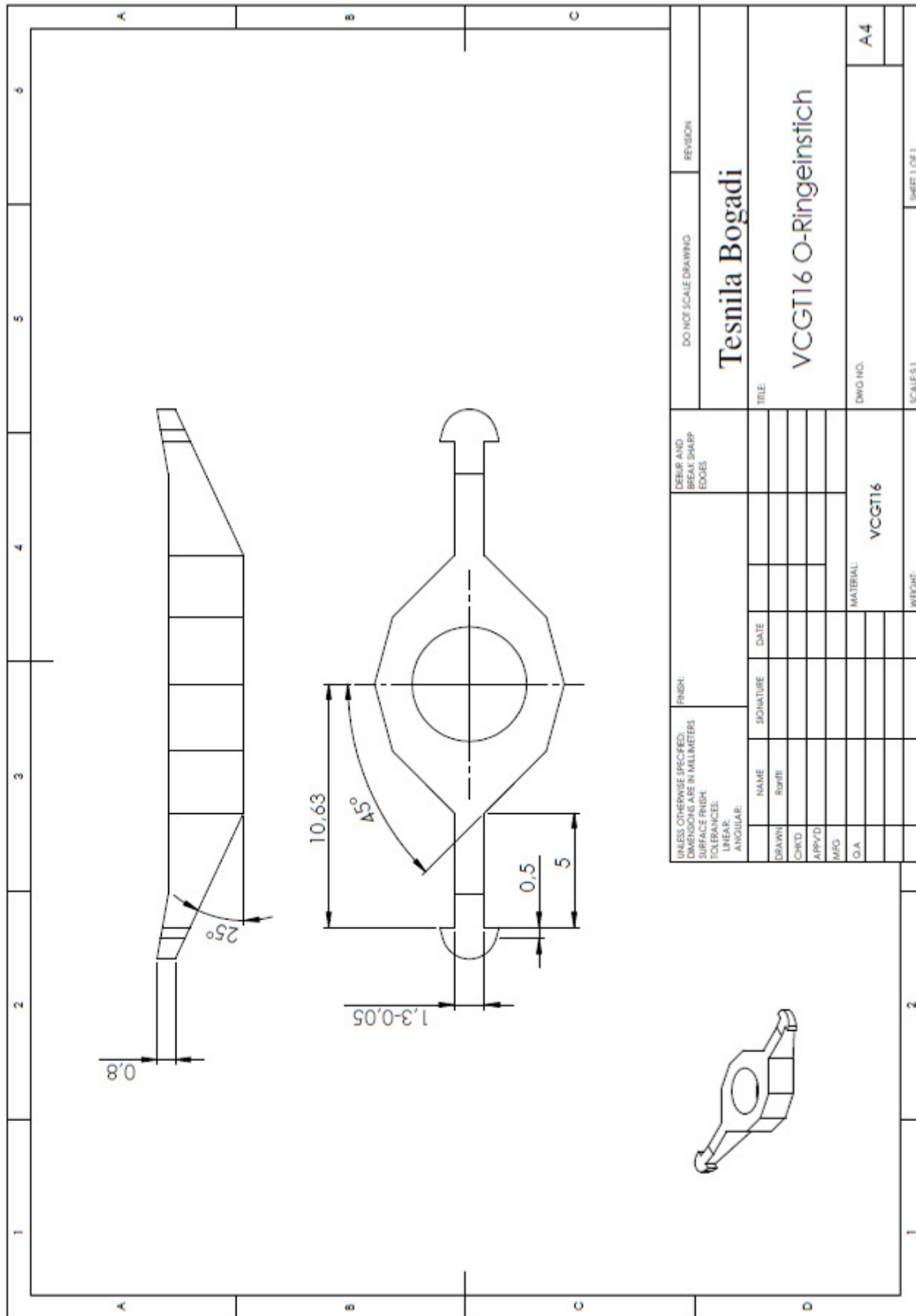




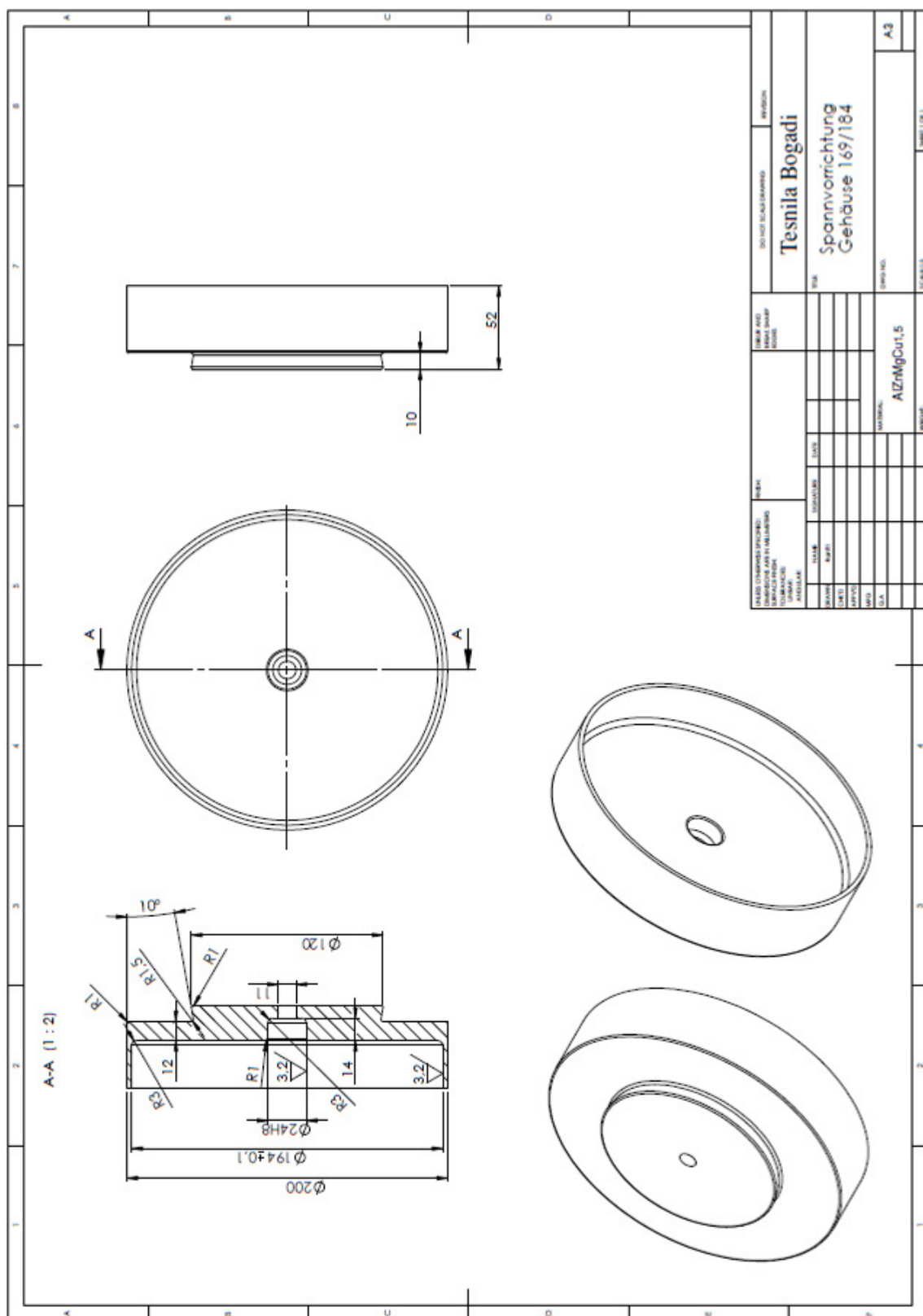
PLEASE COMPLETES (FILL IN):		DESIGNER'S SIGNATURE		DATE	
NAME	DATE	NAME	DATE	NAME	DATE
DESIGNER	DATE	NAME	DATE	NAME	DATE
CHECKED	DATE	NAME	DATE	NAME	DATE
APPROVED	DATE	NAME	DATE	NAME	DATE
DATE	DATE	NAME	DATE	NAME	DATE
MATERIAL: 41CrMo4 (V300)		DESIGN NO.		SCALE: 1:1	
VERSION:		PART NO.		PAGE 1 OF 1	
A3		A3		A3	

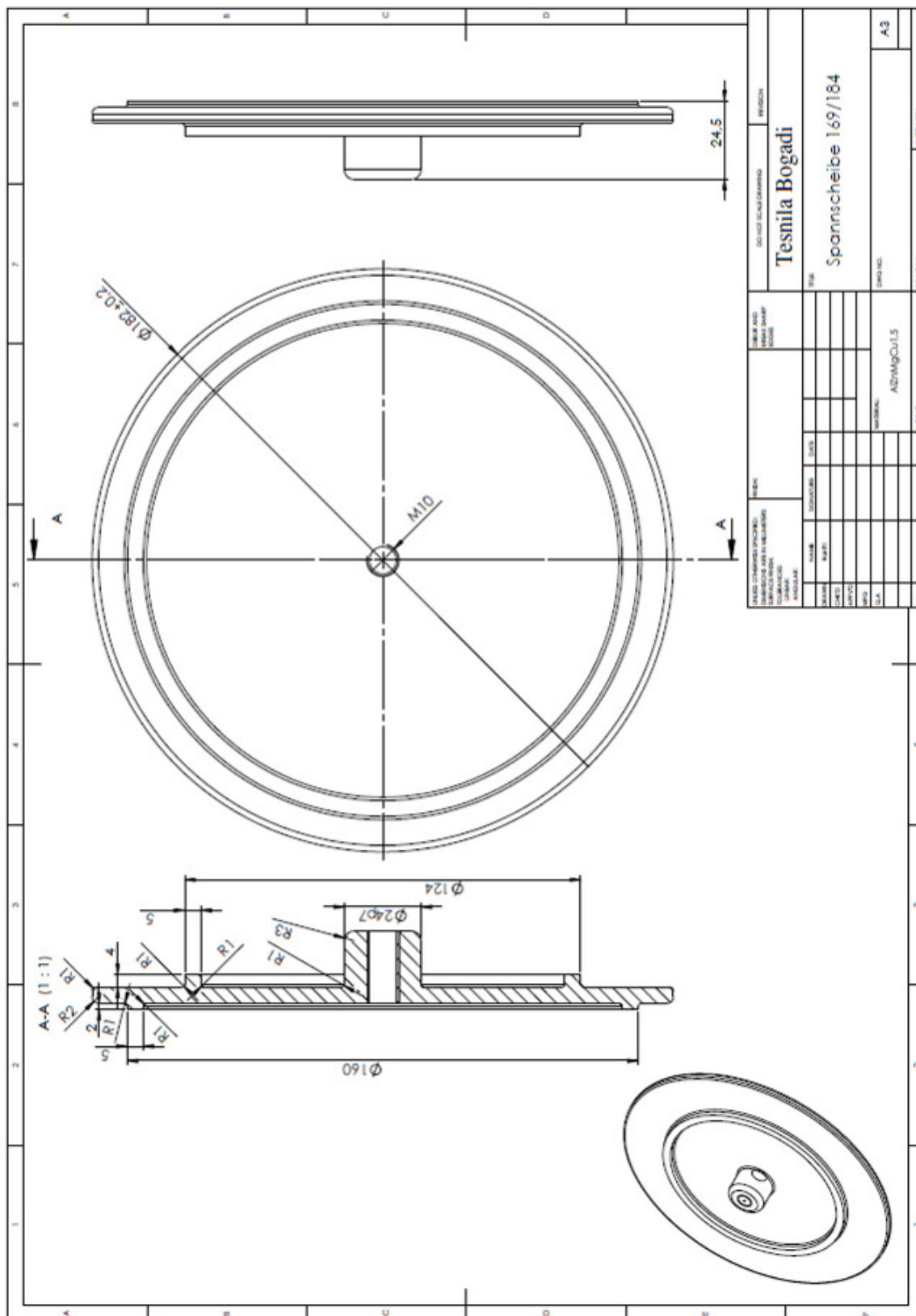


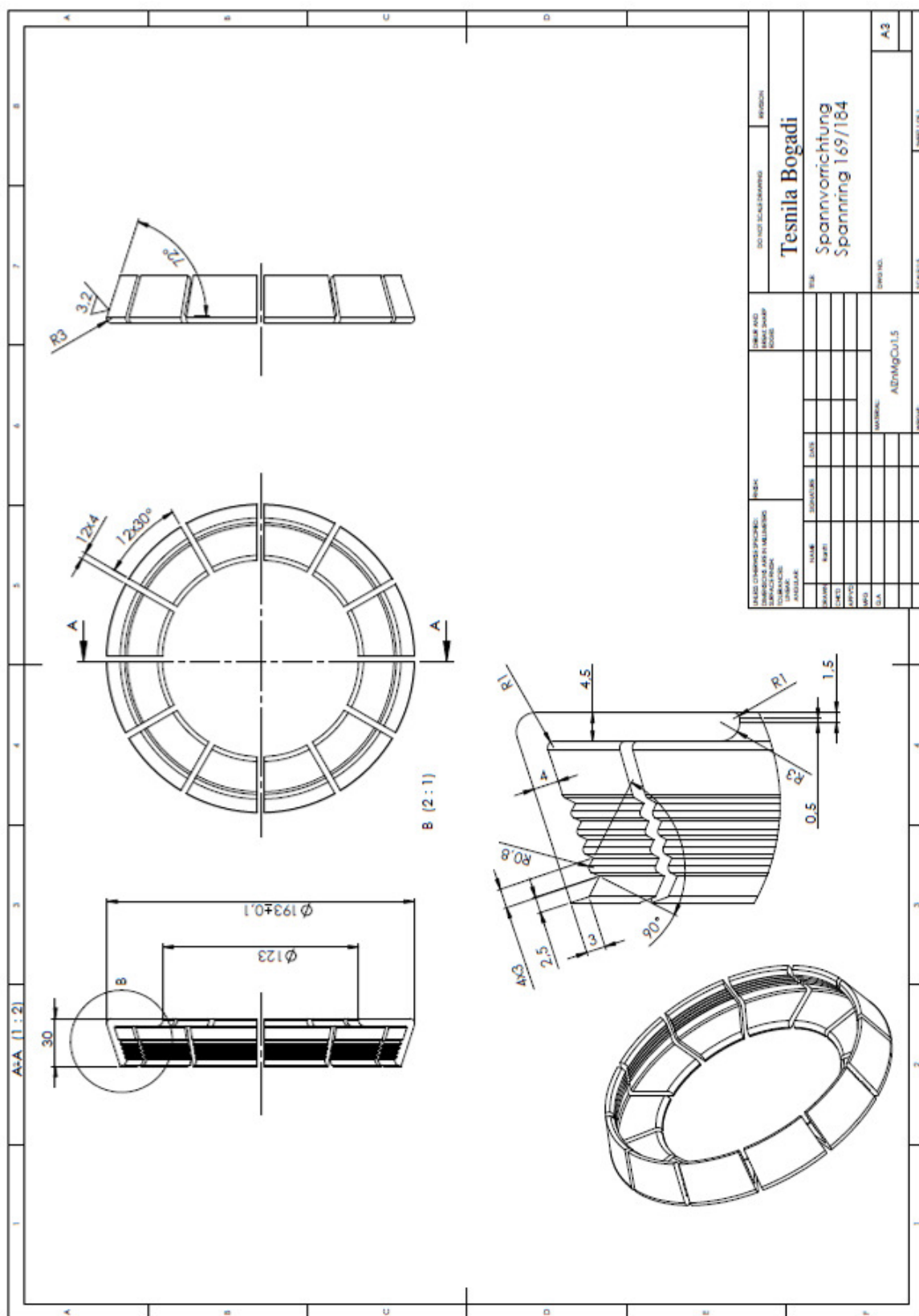


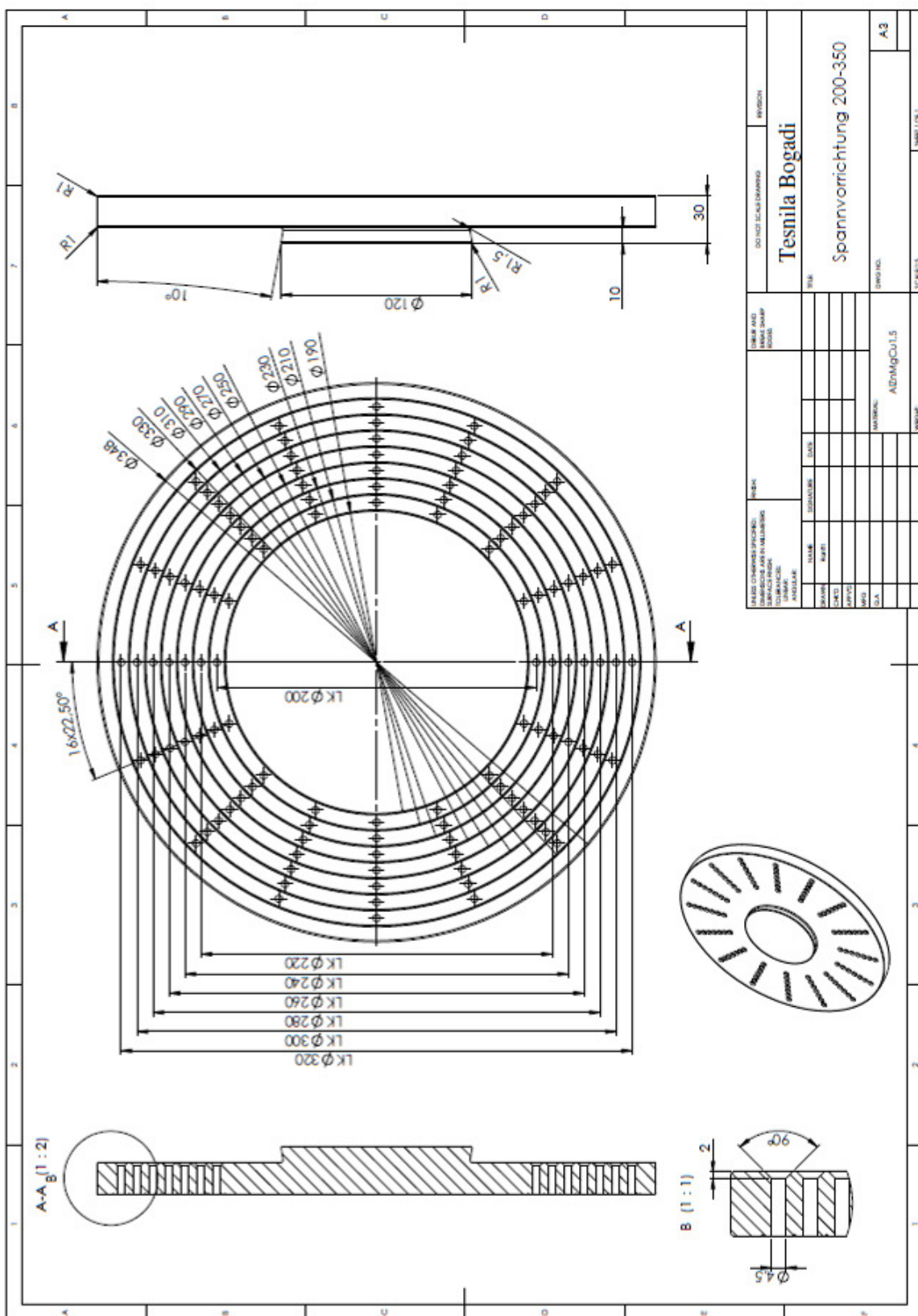


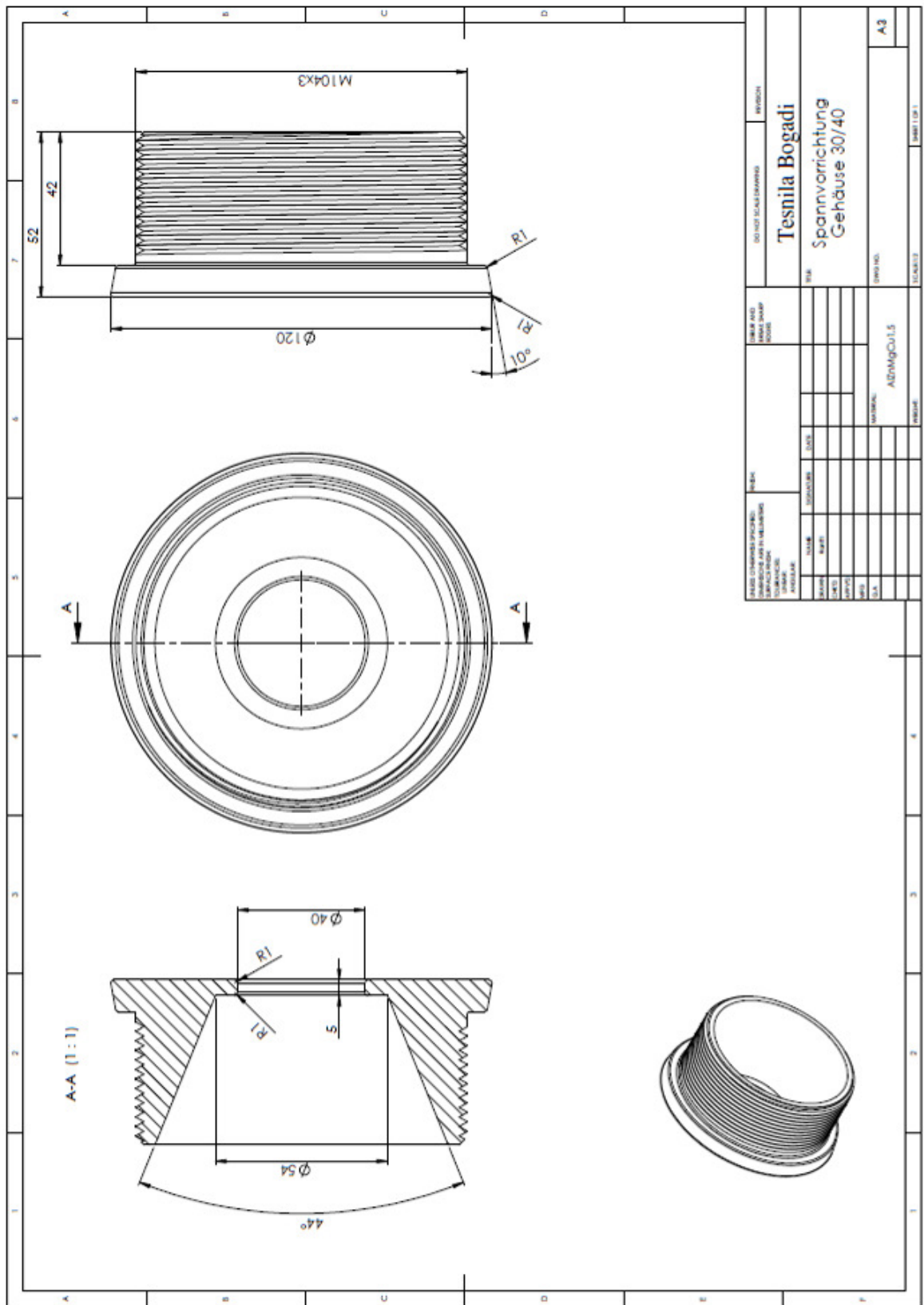
Anlagen Teil 2, Spannmittelzeichnungen

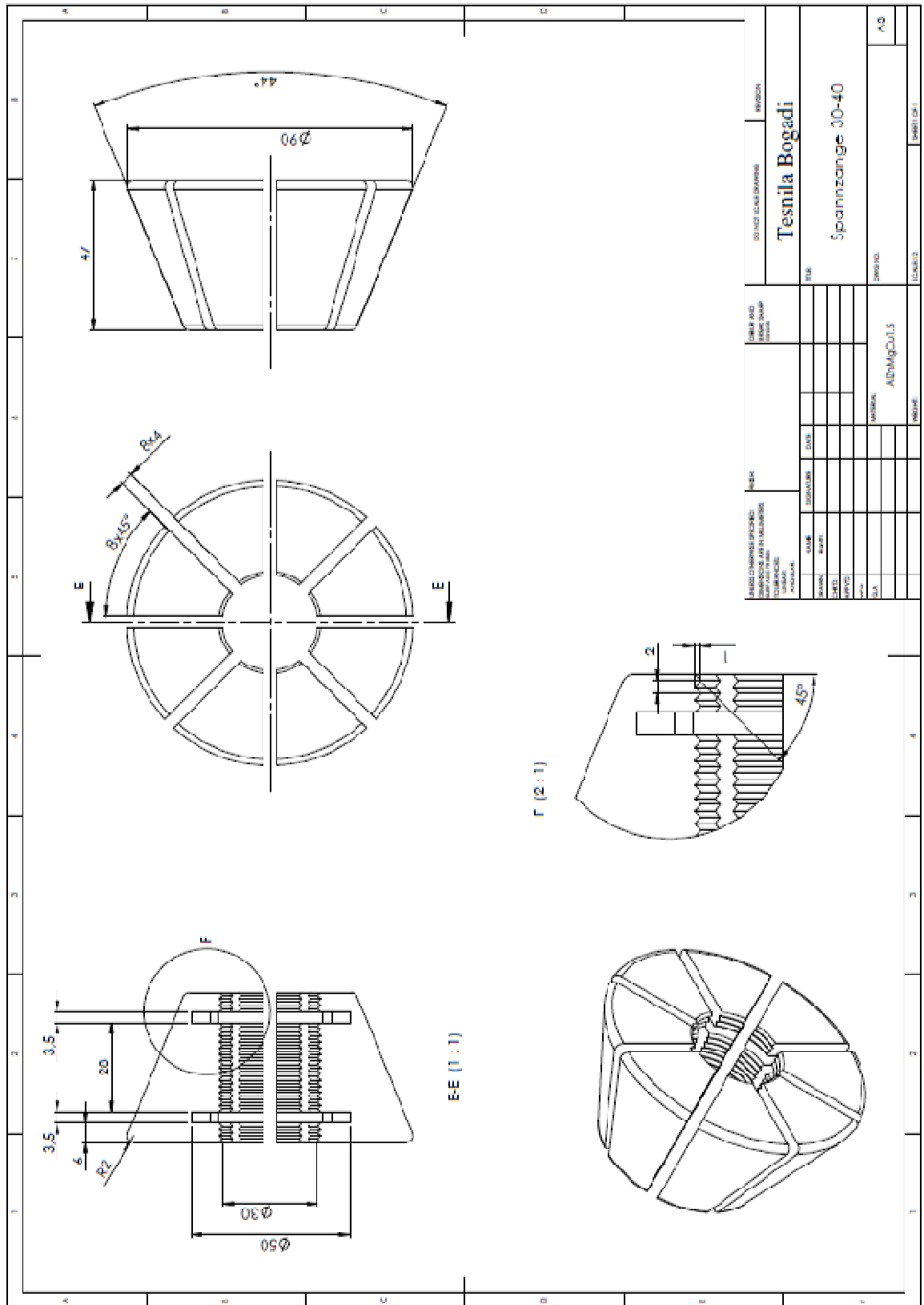


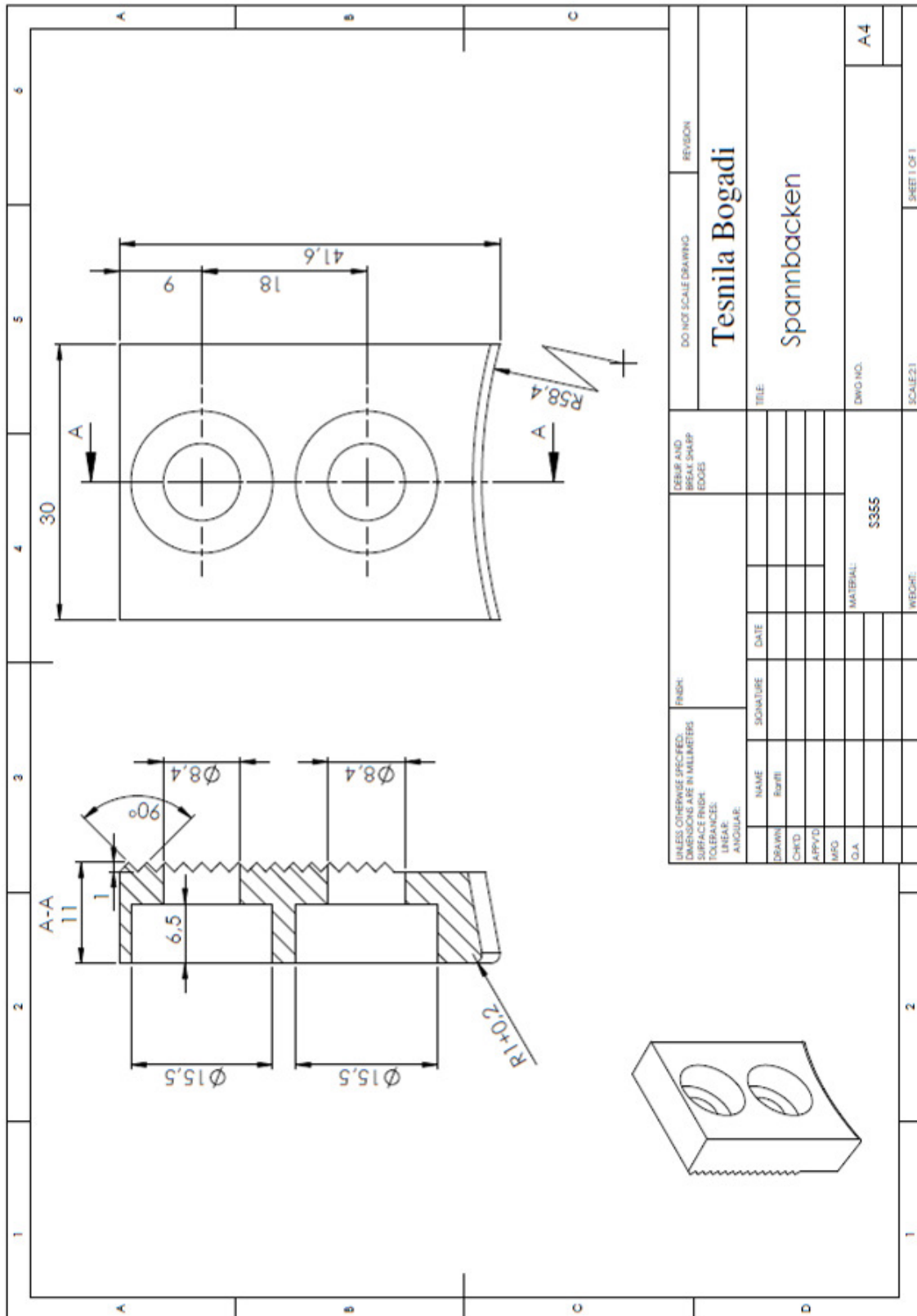












Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Trofaiach, 12. Juli 2013

Wolfgang Ranftl